

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogranje

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:
Prof.dr.sc. Milan Opalić

Ivan Lijović

Zagreb, 2013.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogranje

ZAVRŠNI RAD

Ivan Lijović
0035163306

Zagreb, 2013.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: Ivan Lijović

Mat. br.: 0035163306

Naslov rada na
hrvatskom jeziku: **Planetarni prijenosnik**

Naslov rada na
engleskom jeziku: **Planetary gearbox**

Opis zadatka:

Mješalice su radni strojevi koji se često koriste u procesnoj industriji (farmaceutska, prehrambena, građevinska).

Potrebno je projektirati i konstruktivno razraditi planetarni prijenosnik za pogon procesne mješalice. Prijenosnik je izveden u izvedbi zajedno s elektromotorom a izlazno vratilo smješteno je vertikalno, Kućište prijenosnika je priрубnički vezano za konstrukciju mješalice.


Brzina vrtnje mješalice je cca 35 min^{-1} . Potrebna snaga je 14 kW. Ostale parametre usvojiti u dogovoru s mentorom. Pogonski stroj je trofazni asinkroni elektromotor u S izvedbi.

Kompletno konstrukcijsko rješenje razraditi do razine radioničkih crteža.
U radu navesti korištenu literaturu, norme kao i eventualnu pomoć.

Zadatak zadan:

16. studenog 2012.

Zadatak zdao:


Prof.dr.sc. Milan Opalić

Rok predaje rada:

1. rok: 15. veljače 2013.

2. rok: 11. srpnja 2013.

3. rok: 13. rujna 2013.

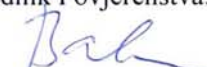
Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27,28. veljače i 1.ožujka2013.

2. rok: 15., 16. i 17. srpnja 2013.

3. rok: 18., 19., i 20. rujna 2013.

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Igor Balen

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, svojim znanjem te uz pomoć navedene literature.

Također, želim zahvaliti voditelju rada, prof. dr.sc. Milanu Opaliću na pomoći, stručnim savjetima i prijedlozima prilikom izrade završnog rada.

SAŽETAK

U radu je potrebno razraditi planetarni prijenosnik za farmaceutusku miješalicu, te dati konstrukcijsko rješenje miješalice. U toj grani industrije potrebno je izabrati elektromotor koji zadovoljava siguran rad, s obzirom da prilikom miješanja supstanca lijekova može doći do stvaranja eksplozivnog omjera plinova u zraku. Uz poznatu potrebnu brzinu miješanja, zadana je i snaga elektromotora, čijim odabirom su automatski zadane ulazna brzina i moment.

Na samom početku jedan od zadanih ciljeva je bio i da planetarni prijenosnik bude usklađenih dimenzija sa elektromotorom, s obzirom da su njegove dimenzije nepromjenjive. S obzirom na malu izlaznu brzinu, planetarni prijenosnik ima veliki prijenosni omjer, kao i veliki izlazni moment. Kako bi se unatoč tome dobilo rješenje željenih dimenzija (ali i traženih izlaznih vrijednosti), usvojeno je rješenje da se planetarni prijenosnik sastoji od dva stupnja, koji su identični.

Prema konstrukcijskom rješenju planetarnog prijenosnika tada je konstruktivno razrađen cijeli sklop miješalice.

SADRŽAJ

1. OPIS PLANETARNIH PRIJENOSNIKA	8
1.1. Definicija i primjena planetarnih prijenosnika	8
1.2. Podjela planetarnih prijenosnika	9
2. PRORAČUN ZUPČANIK A PLANETARNOG PRIJENOSNIKA.....	11
2.1. Izbor elektomotora	11
2.2. Određivanje prijenosnog omjera planetarnog prijenosnika.....	12
2.3. Određivanje broja zubi zupčanika i broja satelita	15
2.3.1. Kriterij koaksijalnosti	15
2.3.2. Kriterij susjednosti	17
2.3.3. Kriterij sprezanja	18
2.4. Proračun snaga i okretnih momenata	19
2.4.1. I stupanj prijenosnika	19
2.4.2. II stupanj prijenosnika	21
2.5. Stupanj iskorištenja planetarnog prijenosnika.....	23
2.6. Proračun modula zupčanog para z_1 - z_2	24
2.7. Proračun modula zupčanog para z_2 - z_3	25
2.8. Proračun modula zupčanog para z_4 - z_5	26
2.9. Proračun modula zupčanog para z_5 - z_6	27
2.10. Određivanje dimenzija i kontrola naprezanja zupčanika.....	28
2.10.1. Dimenzije zupčanika z_1	28
2.10.2. Dimenzije zupčanika z_2	28
2.10.3. Dimenzije zupčanika z_3	28
2.10.4. Dimenzije zupčanika z_4	29
2.10.5. Dimenzije zupčanika z_5	29
2.10.6. Dimenzije zupčanika z_6	29
2.11. Kontrola zupčanika.....	30
2.11.1. Kontrola zupčanog para z_1 - z_2	30
2.11.1. Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprezanje u korijenu zuba.....	31
2.11.2. Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka.....	32
2.11.3. Kontrola zupčanog para z_2 - z_3	33
2.11.3.1. Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprezanje u korijenu zuba.....	34

2.11.3.2.	Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka.....	35
2.11.3.3.	Određivanje materijala zupčanika z_4	35
2.11.4.	Kontrola zupčanog para z_4 - z_5	36
2.11.4.1.	Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprezanje u korijenu zuba.....	37
2.11.4.2.	Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka.....	38
2.11.5.	Kontrola zupčanog para z_5 - z_6	39
2.11.5.1.	Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprezanje u korijenu zuba.....	40
2.11.5.2.	Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka.....	41
2.11.5.3.	Određivanje materijala zupčanika z_6	41
3.	PRORAČUN VRATILA.....	42
3.1.	Proračun vratila B.....	43
3.2.	Proračun vratila F	45
3.3.	Proračun osovine satelita.....	47
3.3.1.	Proračun osovine za zupčnik 2	47
3.3.1.	Proračun osovine za zupčnik 5	48
4.	PRORAČUN LEŽAJEVA	49
5.	ZAKLJUČAK	52
6.	POPIS LITERATURE	53

POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 1. Jednostavni planetarni prijenosnik	8
Slika 2. Primjer jednostrukog planetarnog zupčanka 1VU	10
Slika 3. Dvostruki planetarni prijenosnik 2VU	10
Slika 4. Dvostruki planetarni prijenosnik 1VU	12
Slika 5. Uvjeti koaksijalnosti za 1VU prijenosnik	15
Slika 6. Opterećenje vratila	42
Slika 7. Vratilo B.....	43
Slika 8. Vratilo B.....	45

POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA

$a_{1,2}$	mm	Razmak osi zupčanog para
c	mm	Tjemena zračnost
c_{min}	mm	Minimalna tjemena zračnost
d_1	mm	Diobeni promjer
d_{a1}	mm	Tjemeni promjer
d_{b1}	mm	Temeljni promjer
d_{f1}	mm	Podnožni promjer
F_r	N	Radijalna sila
F_o	N	Obodna sila
f_t		Faktor tvrdoće
f_L		Faktor pogonskih uvjeta
f_n		Faktor okretanja
i		prijenosni omjer
$K_{F\alpha}$		Faktor raspodjele opterećenja kod opteretivosti korijena
$K_{F\beta}$		faktor raspodjele opterećenja po uzdužnoj liniji boka zuba
K_I		Vanjsko dodatno dinamičko opterećenje
K_V		Vanjsko dodatno dinamičko opterećenje
m	mm	Modul
n_A	min^{-1}	Brzina vrtnje
P_{EM}	W	Snaga elektomotora
P_A	W	Snaga dijela A
P_{WA}	W	Zupčana snaga dijela A
P_{KA}	W	Spojna snaga dijela A
q_{L1}		Pomoćni faktor raspodjele
r	mm	Polumjer
S_H		Faktor sigurnosti protiv ljuštenja bokova
S_F		Faktor sigurnosti protiv loma u korijenu zuba
T	Nm	Moment vrtnje (Okretni moment)
v_1	m/s	Obodna brzina na diobenoj kružnici
Y_E		Faktor oblika za proračun opterećenja korijena
Y_ε		Faktor stupnja prekrivanja

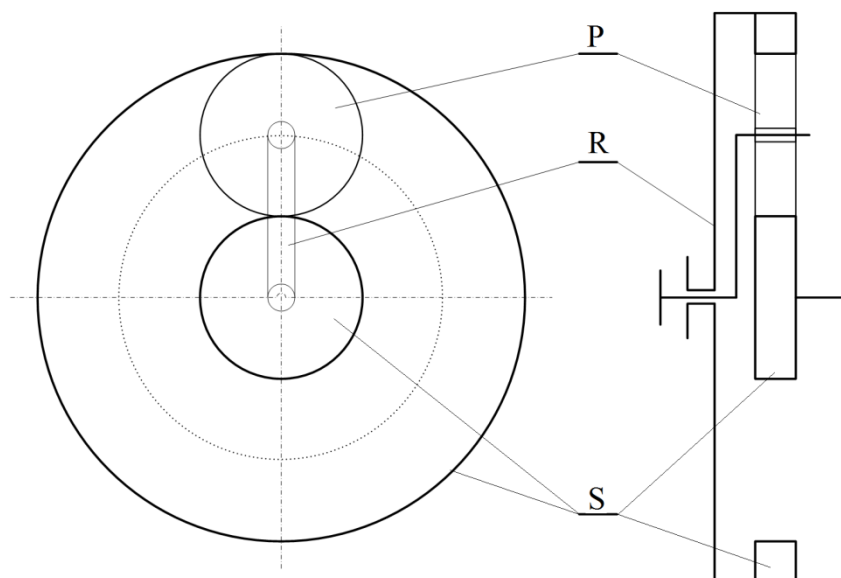
W_1	mm	Mjera preko nekoliko zubi
z_1		Broj zubi zupčanika
Z_{w1}		Broj mjernih zubi
Z_M	$\sqrt{\text{MPa}}$	Faktor materijala
Z_H		Faktor oblika
Z_ε		Faktor stupnja prekrivanja
α_n	°	Zahvatni kut
β	°	Kut nagiba boka
$\varepsilon_{\alpha 1}$		Stupanj prekrivanja
λ		Faktor širine zuba
η		Stupanj iskorištenja
η_{uk}		Ukupni stupanj iskorištenja planetarnog prijenosnika
σ_F	N/mm^2	Naprezanje na savijanje u korijenu zuba
σ_{FP}	N/mm^2	Praktički diozvoljena vrijednost naprezanja u korijenu zuba
σ_{Flim}	N/mm^2	Dinamička čvrstoća kod naprezanja na savijanje korijena zuba
σ_H	N/mm^2	Hertz-ov kontaktni pritisak u kinematskom polu
σ_{HP}	N/mm^2	Praktički diozvoljeni kontaktni pritisak bokova
σ_{Hlim}	N/mm^2	Dinamička čvrstoća kontaktnog pritiska
ω	rad/s	Kutna brzina

1. OPIS PLANETARNIH PRIJENOSNIKA

1.1. Definicija i primjena planetarnih prijenosnika

Planetarnim nazivamo one prijenosnike kod kojih barem jedan glavni član, osim gibanja oko vlastite osi, obavlja i gibanje oko neke druge osi. Sastoje se od najmanje tri člana, uz planetarni, od kojih jedan mora biti reakcijski u slučaju prijenosnika snage. Planetarni član pritom ne može biti reakcijski. Većina jednostavnih planetarnih prijenosnika snage građena je od dva centralna (sunčana) zupčanika, jednog ili više planetarnih zupčanika s njihovim nosačem (ručicom) te kućišta. Dijelovi su dobili imena prema karakteru gibanja, što je prikazano na slici 1. gdje je:

- P – planetarni zupčanik (satelit)
- R – ručica (nosač planetarnog zupčanika)
- S – sunčani zupčanici (centralni)



Slika 1. Jednostavni planetarni prijenosnik

U odnosu na standardne prijenosnike, planetarni prijenosnici imaju niz prednosti kao što su:

- veliki prijenosni omjer u jednom stupnju
- praktično neograničene mogućnosti prijenosnih omjera kombinacijama raznih planetarnih prijenosnika
- kompaktna izvedba
- mogućnost da se snaga pogonskog vratila podijeli na nekoliko gonjenih vratila
- dobar stupanj iskoristivosti

- smanjenje vanjskih dinamičkih sila ugradnjom elastičnih elemenata na reakcijskom članu
- mogućnost diferencijalne izvedbe s više stupnjeva slobode gibanja
- zbog koaksijalnosti je moguće izvesti nasadnu izvedbu čime nema posebnog temeljenja

ali također, postoje i mane poput:

- komplicirana konstrukcija s velikim brojem dijelova
- mali volumen ulja za podmazivanje umakanjem
- centrifugalna sila koja posebno opterećuje ležajeve
- veliki zahtjevi na kvalitetu izrade
- veća cijena u odnosu na standardne prijenosnike

Planetarni prijenosnici se najčešće koriste tamo gdje se traži prijenos što većih snaga i brzina uz što manji volumen i težinu prijenosnika. To je kod njih omogućeno grananjem snage na više planetarnih zahvata zupčanika, a osim manjeg volumena prijenosnika to može imati za posljedicu i manje brzine klizanja, manje dinamičke sile i manju buku. Područje primjene im je kod mobilnih postrojenja (automobili, brodovi, avioni), kod stacionarnih postrojenja (turbinski prijenosnici, kompresori) te u općoj strojogradnji [1]

1.2. Podjela planetarih prijenosnika

Planetarne prijenosnike možemo podijeliti u dvije velike grupe:

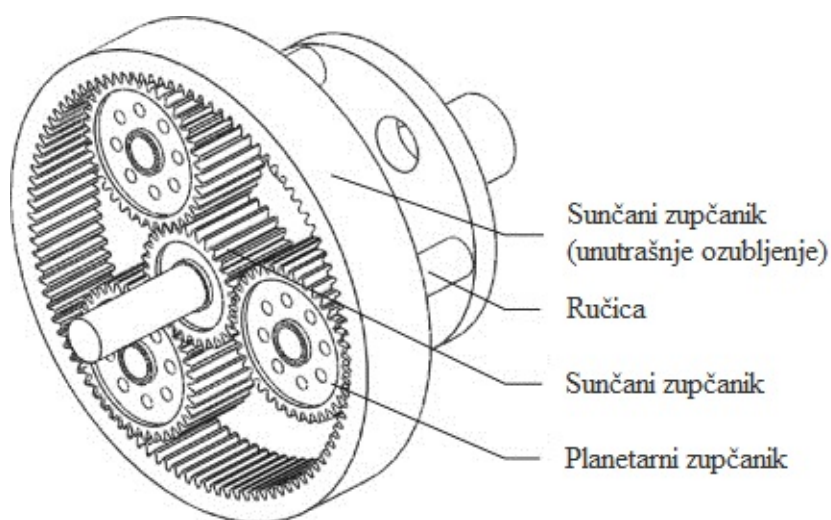
- prijenosnici s otvorenim zupčaničkim lancem koji osim kućišta imaju najmanje tri člana (P, R, S) i prije svega su prijenosnici gibanja,
- prijenosnici sa zatvorenim zupčaničkim lancem, koji se dobiju dodavanjem još jednog zupčanika u otvoreni lanac koji je koaskijalan s postojećim centralim zupčanicom otvorenog lanca

Također, planetarne zupčanike možemo podijeliti i prema složenosti:

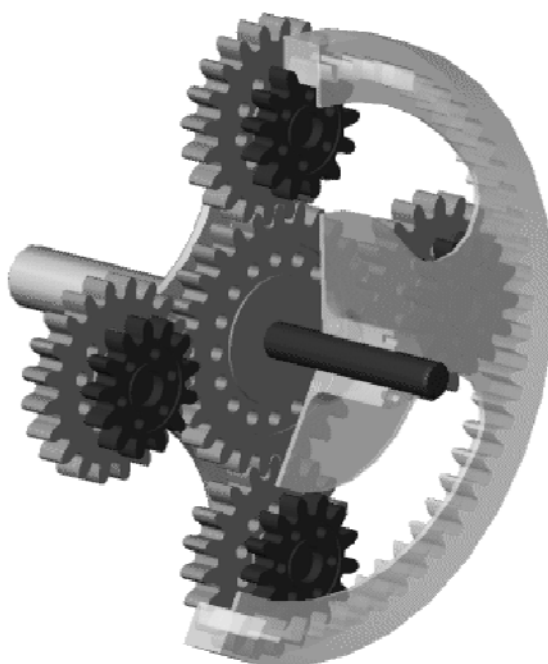
- jednostavni planetarni prijenosnici,
- složeni planetarni prijenosnici.

Jednostavni planetarni prijenosnici su prijenosnici s otvorenim i zatvorenim lancem zupčanika i samo jednom ručicom (R). Obično se izvode s planetarnim zupčanicima s jednim stupnjem i dva stupnja (jednostruki i dvostruki). Pojavljuju se u različitim izvedbama koje se razlikuju po konstruktivnom obliku i razmještanju njihovih kola. Za razliku od njih, glavno obilježje složenih planetarnih prijenosnika je da ili imaju više od jedne ručice ili su složeni od više jednostrukih planetarnih prijenosnika.

Označavanje planetarnih prijenosnika obavlja se pomoću dva slova i dvije brojke. Na prvo mjesto dolazi brojka 1 ili 2, što označava da li je prijenosnik jednostruk ili dvostruk (odnosno da li mu je planetarno kolo jednostruko ili stupnjevano). Na drugo i treće mjestu dolazi kombinacija slova U i V, koja simboliziraju jesu li centralni zupčanici s unutrašnjim ili vanjskim ozubljenjem. Na slikama 2 i 3 su prikazani primjeri jednostrukog odnosno dvostrukog planetarnog prijenosnika.



Slika 2. Primjer jednostrukog planetarnog zupčanka 1VU



Slika 3. Dvostruki planetarni prijenosnik 2VU

2. PRORAČUN ZUPČANIK PLANETARNOG PRIJENOSNIKA

2.1. Izbor elektromotora

U raznim industrijskim granama (kemijska industrija, prehrambena industrija, rafinerije, rudarstvo, benzinske postaje, gospodarenje otpadom) postoji stalni rizik od eksplozija. Rizik od eksplozije postoji kada se plinovi, pare, maglice ili prašine miješaju s kisikom iz zraka u eksplozivni omjer u blizini izvora zapaljenja tako da postoji mogućnost oslobađanja tzv. minimalne energije zapaljenja. Protueksplozijska oprema dizajnirana je u različitim vrstama zaštite, na način da se pravilnom upotrebom može spriječiti eksplozija. Stoga se u zonama gdje postoji mogućnost eksplozije koriste trofazni asinkroni kavezni motori potpuno zatvorene izvedbe hlađeni vlastitim ventilatorom IC411, te izvedeni u vrsti PEX zaštite.

Za pogon procesne mješalice potrebno je odrediti trofazni asinkroni elektromotor u S izvedbi snage 14 kW. S obzirom na tražene uvjete, prema [3] izabran je sljedeći elektromotor:

Končar 7AT 180L-8 sljedećih karakteristika:

$$P_{em} = 15 \text{ kW}$$

$$n_{em} = 970 \text{ min}^{-1}$$

$$\eta = 90.5 \%$$

$$\cos \varphi = 0.84$$

$$I_n = 28.5 \text{ A}$$

$$I_k/I_n = 7.8$$

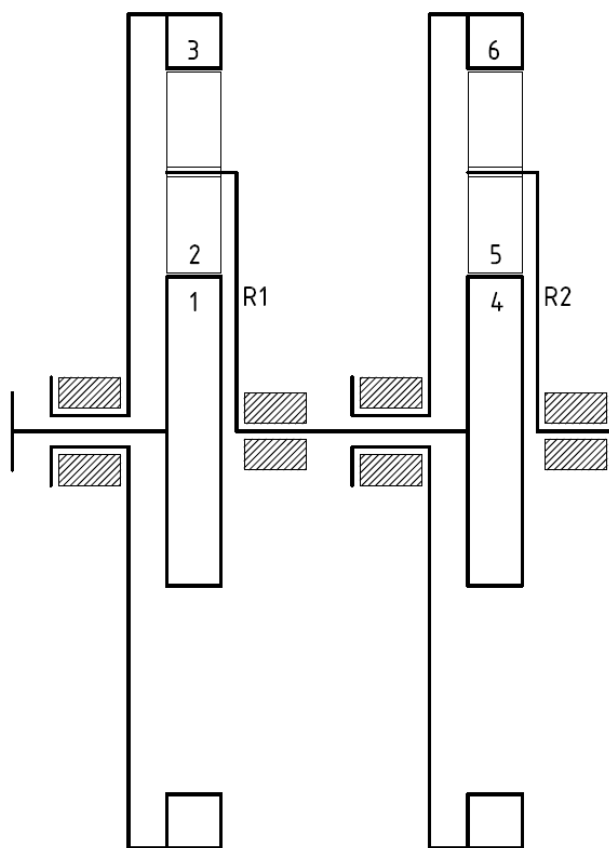
$$M_k/M_n = 2.7$$

$$M_{max}/M_n = 3.6$$

$$J = 0.2 \text{ kgm}^2$$

$$m = 195 \text{ kg}$$

2.2. Određivanje prijenosnog omjera planetarnog prijenosnika



Slika 4. Dvostruki planetarni prijenosnik 1VU

S obzirom na zadane početne uvjete ($n_{em} = 970 \text{ min}^{-1}$, $n_{izl} = \text{cca } 35 \text{ min}^{-1}$), očito je da je ukupni prijenosni omjer relativno velik i iznosi oko 27.7. S obzirom na taj podatak, kao i s obzirom na želju da dimenzije prijenosnika ne odstupaju mnogo od dimenzija elektromotora, odluka je pada da se planetarni prijenosnik izvede u dva stupnja, a da se svaki stupanj izvede kao 1VU planetarni prijenosnik (slika 4.). Također, zbog jednostavnije izrade oba 1VU prijenosnika će biti identična, s isti brojem zubi i istim prijenosnim omjerom. Prijenosni omjer oba stupnja također je izabran standardni ($i = 5$), zbog čega konačni izlazni broj okretaja malo odstupa od 35 min^{-1} i iznosi 38.8 min^{-1} .

Poznate su vrijednosti:

$$n_1 = n_{em} = 970 \text{ min}^{-1}$$

$$n_3 = 0 \text{ min}^{-1}$$

$$n_6 = 0 \text{ min}^{-1}$$

Ukupni prijenosni omjer prvog stupnja reduktora iznosi $i_I = 5$, iz toga slijedi:

$$i_I = \frac{n_{ul}}{n_{R1}}$$

$$5 = \frac{970}{n_{izl}}$$

$$n_{R1} = 196 \text{ min}^{-1}$$

Brzina vrtnje zupčanika z_4 jednaka je brzini vrtnje ručice r_1 .

$$n_4 = n_{R1} = 196 \text{ min}^{-1}$$

Ukupni prijenosni odnos drugog stupnja reduktora iznosi $i_{II} = 5$, iz toga slijedi:

$$i_{II} = \frac{n_{ul}}{n_{izl}}$$

$$5 = \frac{196}{n_{izl}}$$

$$n_{izl} = n_{Rr2} = 38.8 \text{ min}^{-1}$$

Ukupni prijenosni omjer cijelog reduktora iznosi:

$$i_{uk} = i_I \cdot i_{II} = 5 \cdot 5$$

$$i_{uk} = 25$$

Za prvi stupanj reduktora vrijedi:

$$i_0 = \frac{n_1 - n_{R1}}{n_3 - n_{R1}}$$

$$i_0 = \frac{970 - 194}{0 - 194}$$

$$i_0 = -4$$

Za drugi stupanj reduktora vrijedi:

$$i_0 = \frac{n_4 - n_{R2}}{n_6 - n_{R2}}$$

$$i_0 = \frac{194 - 38.8}{0 - 38.8}$$

$$i_0 = -4$$

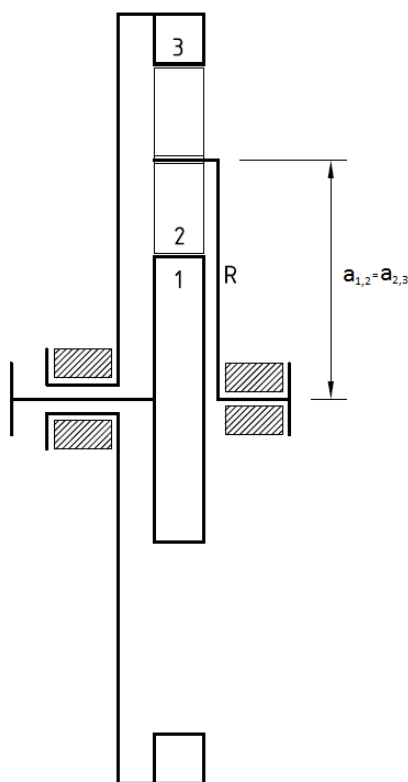
2.3. Određivanje broja zubi zupčanika i broja satelita

Kod izbora broja zubi planetarnog prijenosnika treba obratiti pažnju na ograničenja, tj. na ugradbene kriterije. Da bi ugradnja pojedinih članova prijenosnika bila moguća i da bi se omogućilo ispravno sprezanje pojedinih zupčanika, moraju se zadovoljiti tri osnovna ugradnena kriterija:

- kriterij koaksijalnosti
- kriterij susjednosti
- kriterij sprezanja

2.3.1. Kriterij koaksijalnosti

Osni razmaci zupčanih parova moraju biti odabrani tako da se ostvari koaksijalnost vratila centralnih zupčanika. U konkretnom slučaju, za planetarni prijenosnik 1VU, prema slici 5., glasi:



Slika 5. Uvjeti koaksijalnosti za 1VU prijenosnik

Iz slike vrijedi:

$$a_{12} = a_{23}$$

isti izraz možemo zapisati i kao:

$$\frac{z_3 \cdot m_{n3}}{\cos \beta_3} = \frac{z_1 \cdot m_{n1}}{\cos \beta_1} + \frac{2z_2 \cdot m_{n2}}{\cos \beta_2}$$

Za čelnike s ravnim zubima, bez pomaka profila i s obzirom da zbog dvostrukog sprezanja sva tri zupčanika moraju imati isti modul, gornji izraz možemo zapisati i na sljedeći način:

$$z_3 = z_1 + 2z_2$$

$$z_2 = \frac{z_3 + z_1}{2}$$

Za broj zubi zupčanika z_1 odabrano je:

$$z_1 = 36$$

iz jednadžba za prijenosni omjer slijedi broj zubi za z_3 :

$$i_0 = -\frac{z_3}{z_1}$$

$$-4 = -\frac{z_3}{36}$$

$$z_3 = 144$$

Preko uvjeta za koaksijalnost slijedi broj zubi za z_2 :

$$z_2 = \frac{z_3 + z_1}{2}$$

$$z_2 = \frac{144 - 36}{2}$$

$$z_2 = 54$$

S obzirom da su u oba stupnja prijenosnika identični 1 VU planetarni prijenosnici, poznate su nam odmah i vrijednosti brojeva zubi za zupčanike z_4 , z_5 i z_6 .

$$z_4 = z_1 = 36$$

$$z_5 = z_2 = 54$$

$$z_6 = z_3 = 144$$

Brzine vrtnje n_2 i n_5 su sljedeće:

$$n_2 = \left(1 - \frac{z_3}{z_2}\right) n_{R1} = \left(1 - \frac{144}{54}\right) \cdot 194$$

$$n_2 = -323.33 \text{ min}^{-1}$$

$$n_5 = \left(1 - \frac{z_6}{z_5}\right) n_{R2} = \left(1 - \frac{144}{54}\right) \cdot 38.8$$

$$n_5 = -64.66 \text{ min}^{-1}$$

2.3.2. Kriterij susjednosti

Ovaj kriterij regulira broj planetarnih zupčanika (satelita) koji se mogu ugraditi u prijenosnik. Između dva susjedna planetarna zupčanika mora postojati odrađeni minimalni zazor kako ne bi došli u dodir tjemeni dijelovi zuba dvaju susjednih zupčanika. Za prijenosnike sa jednim redom planetarnih zupčanika (1VU) mora biti ispunjen sljedeći uvjet:

$$N \leq \pi / \sin^{-1}[(d_{a2} + m)/(d_{w1} + d_{w2})]$$

Za čelnike s ravnim zubima i bez pomaka profila, gornji izraz možemo zapisati i na sljedeći način:

$$N \leq \pi / \sin^{-1}[(z_2 + 3)/(z_1 + z_2)]$$

Nakon uvrštavanja slijedi:

$$N \leq \pi / \sin^{-1}[(54 + 3)/(36 + 54)]$$

$$N \leq 4.58$$

Odabrano:

$$N = 4$$

S obzirom da su u oba stupnja prijenosnika identični 1VU planetarni prijenosnici, s jednakim brojevima zubi na zupčanicima, logično je da imaju i jednak broj satelita.

$$N \leq \pi / \sin^{-1}[(z_5 + 3)/(z_4 + z_5)]$$

Nakon uvrštavanja slijedi:

$$N \leq \pi / \sin^{-1}[(54 + 3)/(36 + 54)]$$

$$N \leq 4.58$$

Odabrano:

$$N = 4$$

2.3.3. Kriterij sprezanja

Kriterij sprezanja odnosi se na broj planetarnih zupčanika koji se mogu ugraditi u prijenosnik s gledišta ispravnog sprezanja planetarnih i centralnih zupčanika. Konkretno, s montažom prvog zupčanika fiksira se međusobno položaj zubi i uzubina centralnih zupčanika. Drugi zupčanik moguće je montirati samo onda kada njegovi zubi stoje nasuprot uzubinama centralnog zupčanika. To je moguće samo uz održavanje određenih kutnih uvjeta (δ_{\min}) koje prelaze u uvjete brojeva zubi, pri ravnomjernoj preraspodjeli zupčanika na 360° . Za planetarni prijenosnik 1VU (slika 5.) vrijede sljedeći uvjeti:

$$\delta = k \cdot \delta_{\min} = \frac{k \cdot 360^\circ}{z_1 + z_3} \quad (2.25)$$

$$k = \frac{z_1 + z_3}{N} \quad (2.26)$$

Sljedeći izračun vrijedi za oba stupnja prijenosnika.

Mogući ugradbeni kut je:

$$\delta = \frac{45 \cdot 360}{36 + 144} = 90^\circ$$

Gdje je:

$$k = \frac{36 + 144}{4} = 45$$

Ugradnja 4 satelita pod 90° je moguća.

2.4. Proračun snaga i okretnih momenata

2.4.1. I stupanj prijenosnika

Ukupna snaga na vratilima kod planetarnih prijenosnika dijeli se na dva dijela:

$$P_A = P_{WA} + P_{KA} \quad (2.27)$$

gdje je:

$$P_{WA} = \omega_{AR} T_A - \text{zupčana snaga} \quad (2.28)$$

$$P_{KA} = \omega_{R0} T_A - \text{spojnička snaga} \quad (2.29)$$

Do podjele snage dolazi zato što se brojevi okretaja centralnih kola sastoje do dva dijela, i to od relativnog broja okretaja prema držaču i broja okretaja samog držača. Nadalje, do potrebnih vrijednosti kutnih brzina lako se dođe preko ranije izračunatih brzina vrtnje.

$$\omega_A = \frac{n_A \cdot \pi}{30} = \frac{970 \cdot \pi}{30}$$

$$\omega_A = 101.58 \text{ rad/s}$$

$$\omega_B = \omega_{R1} = \frac{n_r \cdot \pi}{30} = \frac{194 \cdot \pi}{30}$$

$$\omega_B = \omega_{R1} = 20.32 \text{ rad/s}$$

$$\omega_C = \frac{n_3 \cdot \pi}{30} = \frac{0 \cdot \pi}{30}$$

$$\omega_C = 0 \text{ rad/s}$$

Prije proračuna snage, potrebno je za vrtila A, B i C izračunati okretne momente, Također potrebno je i izračunati iskoristivost standardnog prijenosnika (kada ručica miruje).

$$\eta_0 = \eta_{z12}^N \eta_{z23}^N \eta_L^M = 0.99^4 \cdot 0.99^4 \cdot 0.995^6$$

$$\eta_0 = 0.895$$

Za ulazno vrtilo A vrijedi:

$$P_A = 2\pi n_A T_A = \omega_A \cdot T_A$$

uvrštavanjem slijedi:

$$T_A = \frac{P_A}{\omega_A} = \frac{15000}{101.58}$$

$$T_A = 147.67 \text{ Nm}$$

Okretni moment vratila B:

$$T_B = -(T_A + T_C) = -(1 - i_0 \eta_o^w) T_A$$

$$T_B = -(1 - (-4) \cdot 0.895^1) \cdot 147.67$$

$$T_B = -676.33 \text{ Nm}$$

Okretni moment vratila C:

$$T_C = -i_0 \eta_o^w T_A$$

$$T_C = -(-4) \cdot 0.895^1 \cdot 147.67$$

$$T_C = 528.66 \text{ Nm}$$

Vrijednosti momenata se lako daju provjeriti, s obzirom da suma vanjskih momenata mora biti jednaka nuli.

$$T_A + T_B + T_C = 0$$

$$147.67 + (-676.33) + 528.66 = 0$$

$$0 = 0$$

Zadovoljen je uvjet.

S obzirom da su sada poznate sve potrebne veličine, slijedi izračun snaga.

$$P_{WA} = \omega_{AR1} T_A = (\omega_A - \omega_{R1}) \cdot T_A = (101.58 - 20.32) \cdot 147.67$$

$$P_{WA} = 12000 \text{ W}$$

$$P_{KA} = \omega_{R1,0} T_A = 20.32 \cdot 147.67$$

$$P_{KA} = 3000 \text{ W}$$

$$P_{WB} = \omega_{BR1} T_B = (\omega_B - \omega_{R1}) \cdot T_B = (20.32 - 20.32) \cdot (-676.33)$$

$$P_{WB} = 0 \text{ W}$$

$$P_{KB} = \omega_{R1,0} T_B = 20.32 \cdot (-676.33)$$

$$P_{KB} = 13743.02 \text{ W}$$

$$P_{WC} = \omega_{CR1} T_C = (\omega_C - \omega_{R1}) \cdot T_C = (0 - 20.73) \cdot 528.66$$

$$P_{WC} = -10768.8 \text{ W}$$

$$P_{KC} = \omega_{R1,0} T_C = 20.32 \cdot 528.66$$

$$P_{KC} = 10768.8 \text{ W}$$

2.4.2. II stupanj prijenosnika

Do potrebnih vrijednosti kutnih brzina dođe se preko ranije izračunatih brzina vrtnje.

$$\omega_D = \omega_B = 20.32 \text{ rad/s}$$

$$\omega_E = \omega_{R2} = \frac{n_{R2} \cdot \pi}{30} = \frac{38.8 \cdot \pi}{30}$$

$$\omega_E = \omega_{R2} = 4.06 \text{ rad/s}$$

$$\omega_F = \frac{n_6 \cdot \pi}{30} = \frac{0 \cdot \pi}{30}$$

$$\omega_F = 0 \text{ rad/s}$$

Prije proračuna snage, potrebno je za vratila D, E i F izračunati okretne momente, Također potrebno je i izračunati iskoristivost standardnog prijenosnika (kada ručica miruje).

$$\eta_0 = \eta_{z45}^N \eta_{z56}^N \eta_L^M = 0.99^4 \cdot 0.99^4 \cdot 0.995^6$$

$$\eta_0 = 0.895$$

Za ulazno vratilo B:

$$T_D = T_B = 528.66 \text{ Nm}$$

Okretni moment vratila D:

$$T_E = -(T_D + T_F) = -(1 - i_0 \eta_o^w) T_B$$

$$T_E = -(1 - (-4) \cdot 0.895^1) \cdot 528.66$$

$$T_E = -2421.26 \text{ Nm}$$

Okretni moment vratila C:

$$T_F = -i_0 \eta_o^w T_B$$

$$T_F = -(-4) \cdot 0.895^1 \cdot 528.66$$

$$T_F = 1892.6 \text{ Nm}$$

Vrijednosti momenata se lako daju provjeriti, s obzirom da suma vanjskih momenata mora biti jednaka nuli.

$$T_D + T_E + T_F = 0$$

$$528.66 + (-2421.26) + 1892.6 = 0$$

$$0 = 0$$

Zadovoljen je uvjet.

S obzirom da su sada poznate sve potrebne veličine, slijedi izračun snaga.

$$P_{WD} = \omega_{DR2} T_A = (\omega_D - \omega_{R2}) \cdot T_D = (20.32 - 4.06) \cdot 528.66$$

$$P_{WD} = 8596.01 \text{ W}$$

$$P_{KD} = \omega_{R2,0} T_D = 4.06 \cdot 528.66$$

$$P_{KD} = 2141.08 \text{ W}$$

$$P_{WE} = \omega_{ER2} T_E = (\omega_E - \omega_{R2}) \cdot T_E = (4.06 - 4.06) \cdot (-2421.26)$$

$$P_{WE} = 0 \text{ W}$$

$$P_{KE} = \omega_{R2,0} T_E = 4.06 \cdot (-2421.26)$$

$$P_{KE} = 9830.32 \text{ W}$$

$$P_{WF} = \omega_{FR2} T_C = (\omega_F - \omega_{R2}) \cdot T_F = (0 - 4.06) \cdot 1892.6$$

$$P_{WF} = -7683.96 \text{ W}$$

$$P_{KF} = \omega_{R2,0} T_C = 4.06 \cdot 1892.6$$

$$P_{KC} = 7683.96 \text{ W}$$

2.5. Stupanj iskorištenja planetarnog prijenosnika

Ukupna iskoristivost planetarnog prijenosnika iznosi:

$$\eta = -\frac{P_{izlaz}}{P_{ulaz}} = \frac{P_k + \eta_z P_W}{P_K + P_W}$$

Gornji izraz se za planetarni prijenosnik 1VU i uz $n_3 = 0$ može zapisati i na sljedeći način:

$$\eta = \frac{1 - \eta_0 i_0}{1 - i_0}$$

Nakon uvrštavanja slijedi:

$$\eta = \frac{1 - 0.895 \cdot (-4)}{1 - (-4)}$$

$$\eta = 0.916$$

S obzirom da se prijenosnik zapravo sastoji od dva planetarna prijenosnika, ukupni stupanj iskorištenja je sljedeći:

$$\eta_{uk} = \eta_1 \eta_2$$

$$\eta_{uk} = 0.916 \cdot 0.916$$

$$\eta_{uk} = 0.84$$

2.6. Proračun modula zupčanog para z_1 - z_2

Odabrani materijal zupčanika 1 je Č1531 plameno kaljen.

S obzirom da je materijal kaljen, mjerodavan je proračun orijentacijske vrijednosti modula na osnovi opteretivosti korijena zuba.

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_1}{\lambda \cdot z_1 \cdot \sigma_{FP}} \cdot Y_E \cdot Y_\varepsilon \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_I \cdot K_V}$$

Predračunske vrijednosti faktora prema [2]:

$$Y_E = 2.2$$

$$Y_\varepsilon = 1$$

$$K_{F\alpha} = 1$$

$$K_{F\beta} = 1$$

$$K_I = 1 \text{ (za ravnomjerno opterećenje radnog stroja)}$$

$$K_V = 1.25$$

$$K_V = f\left(\frac{v_1 z_1}{100} = 2.96, \text{ kvaliteta ozubljenja } 8\right)$$

$$v_1 = r_1 \cdot \omega_1 = \frac{(36 \cdot 3)/1000}{2} \cdot 101.58 = 5.49 \text{ m/s}$$

$$\sigma_{FP} = \frac{0.7 \cdot \sigma_{F \text{ lim}}}{S_F} = \frac{0.7 \cdot 270}{2.5} = 75.6 \text{ N/mm}^2$$

S obzirom da je broj planetarnih zupčanika $N=4$, ukupna zupčana snaga se dijeli ravnomjerno na njih.

$$P'_1 = \frac{P_{WA}}{N} = \frac{12000}{4} = \text{W}$$

$$T_1 = \frac{P'_1}{\omega_1} = \frac{3000}{101.58} = 31.91 \text{ Nm}$$

$$T_1 = 29.53 \text{ Nm}$$

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 29530}{25 \cdot 36 \cdot 75.6} \cdot 2.2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.25} = 1.33$$

Mogući standardni modul 1. reda: $m = 1.5 \text{ mm}$

2.7. Proračun modula zupčanog para z_2 - z_3

Odabrani materijal zupčanika 2 je Č1531 plameno kaljen.

S obzirom da je materijal kaljen, mjerodavan je proračun orijentacijske vrijednosti modula na osnovi opteretivosti korijena zuba.

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_2}{\lambda \cdot z_2 \cdot \sigma_{FP}} \cdot Y_E \cdot Y_\varepsilon \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_I \cdot K_V}$$

Predračunske vrijednosti faktora prema [2]:

$$Y_E = 2.2$$

$$Y_\varepsilon = 1$$

$$K_{F\alpha} = 1$$

$$K_{F\beta} = 1$$

$$K_I = 1 \text{ (za ravnomjerno opterećenje radnog stroja)}$$

$$K_V = 1.15$$

$$K_V = f\left(\frac{v_{2Z2}}{100} = 1.48, \text{ kvaliteta ozubljenja } 8\right)$$

$$v_2 = r_2 \cdot \omega_2 = \frac{(54 \cdot 3)/1000}{2} \cdot 33.86 = 2.74 \text{ m/s}$$

$$\sigma_{FP} = \frac{0.7 \cdot \sigma_{F \text{ lim}}}{S_F} = \frac{0.7 \cdot 270}{2.5} = 75.6 \text{ N/mm}^2$$

S obzirom da je broj planetarnih zupčanika $N=4$, ukupna zupčana snaga se dijeli ravnomjerno na njih.

$$P_2' = \frac{P_{WC}}{N} = \frac{-10768.8}{4} = 2692.2 \text{ W}$$

$$T_2 = \frac{P_2'}{\omega_2} = \frac{2692.2}{33.86} = 79.51 \text{ Nm}$$

$$T_2 = 79.51 \text{ Nm}$$

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 79510}{25 \cdot 54 \cdot 75.6} \cdot 2.2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.15} = 1.58$$

Mogući standardni modul 1. reda: $m = 2 \text{ mm}$

2.8. Proračun modula zupčanog para z_4 - z_5

Odabrani materijal zupčanika 4 je Č1531 plameno kaljen.

S obzirom da je materijal kaljen, mjerodavan je proračun orijentacijske vrijednosti modula na osnovi opteretivosti korijena zuba.

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_4}{\lambda \cdot z_4 \cdot \sigma_{FP}} \cdot Y_E \cdot Y_\varepsilon \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_I \cdot K_V}$$

Predračunske vrijednosti faktora prema [2]:

$$Y_E = 2.2$$

$$Y_\varepsilon = 1$$

$$K_{F\alpha} = 1$$

$$K_{F\beta} = 1$$

$$K_I = 1 \text{ (za ravnomjerno opterećenje radnog stroja)}$$

$$K_V = 1$$

$$K_V = f\left(\frac{v_4 z_4}{100} = 0.4, \text{ kvaliteta ozubljenja } 8\right)$$

$$v_4 = r_4 \cdot \omega_4 = \frac{(36 \cdot 3)/1000}{2} \cdot 20.32 = 1.1 \text{ m/s}$$

$$\sigma_{FP} = \frac{0.7 \cdot \sigma_{F \text{ lim}}}{S_F} = \frac{0.7 \cdot 270}{2.5} = 75.6 \text{ N/mm}^2$$

S obzirom da je broj planetarnih zupčanika $N=4$, ukupna zupčana snaga se dijeli ravnomjerno na njih.

$$P'_4 = \frac{P_{WD}}{N} = \frac{8596.01}{4} = 2149 \text{ W}$$

$$T_4 = \frac{P'_4}{\omega_4} = \frac{2149}{20.32} = 105.76 \text{ Nm}$$

$$T_4 = 105.76 \text{ Nm}$$

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 105760}{25 \cdot 36 \cdot 75.6} \cdot 2.2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1} = 1.90$$

Mogući standardni modul 1. reda: $m = 2 \text{ mm}$

2.9. Proračun modula zupčanog para z_5 - z_6

Odabrani materijal zupčanika 5 je Č1531 plameno kaljen..

S obzirom da je materijal kaljen, mjerodavan je proračun orijentacijske vrijednosti modula na osnovi opteretivosti korijena zuba.

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_2}{\lambda \cdot z_5 \cdot \sigma_{FP}} \cdot Y_E \cdot Y_\varepsilon \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_I \cdot K_V}$$

Predračunske vrijednosti faktora prema [2]:

$$Y_E = 2.2$$

$$Y_\varepsilon = 1$$

$$K_{F\alpha} = 1$$

$$K_{F\beta} = 1$$

$$K_I = 1 \text{ (za ravnomjerno opterećenje radnog stroja)}$$

$$K_V = 1$$

$$K_V = f\left(\frac{v_5 z_5}{100} = 0.3, \text{ kvaliteta ozubljenja } 8\right)$$

$$v_5 = r_5 \cdot \omega_5 = \frac{(54 \cdot 3)/1000}{2} \cdot 6.77 = 0.55 \text{ m/s}$$

$$\sigma_{FP} = \frac{0.7 \cdot \sigma_{F \text{ lim}}}{S_F} = \frac{0.7 \cdot 270}{2.5} = 75.6 \text{ N/mm}^2$$

S obzirom da je broj planetarnih zupčanika $N=4$, ukupna zupčana snaga se dijeli ravnomjerno na njih.

$$P'_5 = \frac{P_{WF}}{N} = \frac{-7683.96}{4} = 1921 \text{ W}$$

$$T_5 = \frac{P'_5}{\omega_5} = \frac{1921}{6.77} = 283.75 \text{ Nm}$$

$$T_5 = 283.75 \text{ Nm}$$

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 283.75}{25 \cdot 54 \cdot 75.6} \cdot 2.2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1} = 2.3$$

Mogući standardni modul 1. reda: $m = 2.5 \text{ mm}$

2.10. Određivanje dimenzija i kontrola naprezanja zupčanika

Na osnovi prethodnih proračuna modula, za sve zupčane parove izabire se sljedeći modul:

$$m = 3 \text{ mm}$$

Za modul se moglo odabrati i $m = 2.5 \text{ mm}$ ali cilj je bio da se zupčanik z_1 može nasaditi na vratilo elektromotora koje ima promjer 48 mm.

Također, za sve zupčanike vrijedi i sljedeće:

$$\alpha_n = 20^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$b = m \cdot \lambda = 2.5 \cdot 25 = 62.5 \text{ mm}$$

2.10.1. Dimenzije zupčanika z_1

$$d_1 = z_1 \cdot m = 36 \cdot 3 = 108 \text{ mm}$$

$$d_{a1} = d_1 + 2m = 108 + 2 \cdot 3 = 114 \text{ mm}$$

$$d_{f1} = d_1 - 2m - 2c = 108 - 2 \cdot 3 - 2 \cdot 0.25 \cdot 3 = 100.5 \text{ mm}$$

$$d_{b1} = d_1 \cdot \cos \alpha = 108 \cdot \cos 20^\circ = 101.49 \text{ mm}$$

2.10.2. Dimenzije zupčanika z_2

$$d_2 = z_2 \cdot m = 54 \cdot 3 = 162 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2m = 162 + 2 \cdot 3 = 168 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2m - 2c = 162 - 2 \cdot 3 - 2 \cdot 0.25 \cdot 3 = 154.5 \text{ mm}$$

$$d_{b2} = d_2 \cdot \cos \alpha = 162 \cdot \cos 20^\circ = 152.23 \text{ mm}$$

2.10.3. Dimenzije zupčanika z_3

$$d_3 = z_3 \cdot m = 144 \cdot 3 = 432 \text{ mm}$$

$$d_{a3} = d_3 - 2m = 432 - 2 \cdot 3 = 426 \text{ mm}$$

$$d_{f3} = d_3 + 2m + 2c = 432 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 0.25 \cdot 3 = 439.5 \text{ mm}$$

$$d_{b3} = d_3 \cdot \cos \alpha = 432 \cdot \cos 20^\circ = 405.95 \text{ mm}$$

2.10.4. Dimenzije zupčanika z_4

$$d_4 = z_4 \cdot m = 36 \cdot 3 = 108 \text{ mm}$$

$$d_{a4} = d_4 + 2m = 108 + 2 \cdot 3 = 114 \text{ mm}$$

$$d_{f4} = d_4 - 2m - 2c = 108 - 2 \cdot 3 - 2 \cdot 0.25 \cdot 3 = 100.5 \text{ mm}$$

$$d_{b4} = d_4 \cdot \cos \alpha = 108 \cdot \cos 20^\circ = 101.49 \text{ mm}$$

2.10.5. Dimenzije zupčanika z_5

$$d_5 = z_5 \cdot m = 54 \cdot 3 = 162 \text{ mm}$$

$$d_{a5} = d_5 + 2m = 162 + 2 \cdot 3 = 168 \text{ mm}$$

$$d_{f5} = d_5 - 2m - 2c = 162 - 2 \cdot 3 - 2 \cdot 0.25 \cdot 3 = 154.5 \text{ mm}$$

$$d_{b5} = d_5 \cdot \cos \alpha = 162 \cdot \cos 20^\circ = 152.23 \text{ mm}$$

2.10.6. Dimenzije zupčanika z_6

$$d_6 = z_6 \cdot m = 144 \cdot 3 = 432 \text{ mm}$$

$$d_{a6} = d_6 - 2m = 432 - 2 \cdot 3 = 426 \text{ mm}$$

$$d_{f6} = d_6 + 2m + 2c = 432 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 0.25 \cdot 3 = 439.5 \text{ mm}$$

$$d_{b6} = d_6 \cdot \cos \alpha = 432 \cdot \cos 20^\circ = 405.95 \text{ mm}$$

2.11. Kontrola zupčanika

2.11.1. Kontrola zupčanog para z_1 - z_2

Oсни razmak

$$a_{12} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{108 + 162}{2} = 135 \text{ mm}$$

Kontrola tjemene zračnosti:

$$c = a - \frac{d_{a1} + d_{f2}}{2} = 135 - \frac{114 + 154.5}{2} = 0.75 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 0.12 \cdot m = 0.12 \cdot 3 = 0.36 \text{ mm}$$

$$0.75 > 0.36 \rightarrow \text{nije potrebno skraćenje tjemena}$$

Nazivna mjera preko nekoliko zubi za kontrolu graničnih odstupanja:

$$\begin{aligned} W_1 &= m \cdot \cos \alpha \cdot (\pi \cdot (z_{w1} - 0.5) + z_1 \cdot \text{ev} \alpha + 2 \cdot x_1 \cdot \text{tg} \alpha) = \\ &= 3 \cdot \cos 20^\circ \cdot (\pi \cdot (5 - 0.5) + 36 \cdot 0.014904 + 2 \cdot 0 \cdot \text{tg} 20^\circ) = \end{aligned}$$

$$W_1 = 41.37 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} z_{w1} &= \frac{z_1}{\pi} \cdot (\tan \alpha - \text{ev} \alpha) - \frac{2 \cdot x_1 \cdot \text{tg} 20^\circ}{\pi} + 0.5 = \\ &= \frac{36}{\pi} \cdot (0.36397 - 0.014904) - \frac{2 \cdot 0 \cdot \text{tg} 20^\circ}{\pi} + 0.5 = 4.5 \end{aligned}$$

$$z_{w1} = 5$$

z_w – mjerni broj zubi nazivne mjere, zaokružuje se na cijeli broj

$$\begin{aligned} W_2 &= m \cdot \cos \alpha \cdot (\pi \cdot (z_{w2} - 0.5) + z_2 \cdot \text{ev} \alpha + 2 \cdot x_2 \cdot \text{tg} \alpha) = \\ &= 3 \cdot \cos 20^\circ \cdot (\pi \cdot (7 - 0.5) + 54 \cdot 0.014904 + 2 \cdot 0 \cdot \text{tg} 20^\circ) = \end{aligned}$$

$$W_2 = 59.83 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} z_{w2} &= \frac{z_2}{\pi} \cdot (\tan \alpha - \text{ev} \alpha) - \frac{2 \cdot x_2 \cdot \text{tg} 20^\circ}{\pi} + 0.5 = \\ &= \frac{54}{\pi} \cdot (0.36397 - 0.014904) - \frac{2 \cdot 0 \cdot \text{tg} 20^\circ}{\pi} + 0.5 = 6.5 \end{aligned}$$

$$z_{w2} = 7$$

Stupanj prekrivanja se dobije preko izraza:

$$\varepsilon_{\alpha 1} = \frac{g_{\alpha}}{p_c} = \frac{g_{\alpha}}{p \cos \alpha} = e_1 + e_2 - e_a$$

izraz se još može napisati i ovako:

$$\varepsilon_{\alpha 3} = \frac{1}{2\pi} \left[\sqrt{\left(\frac{z_1 + 2}{\cos \alpha}\right)^2 - z_1^2} + \sqrt{\left(\frac{z_2 + 2}{\cos \alpha}\right)^2 - z_2^2} - (z_1 + z_2) \tan \alpha \right]$$

$$\varepsilon_{\alpha 3} = \frac{1}{2\pi} \left[\sqrt{\left(\frac{36 + 2}{\cos 20^\circ}\right)^2 - 36^2} + \sqrt{\left(\frac{54 + 2}{\cos 20^\circ}\right)^2 - 54^2} - (36 + 54) \tan 20^\circ \right]$$

$$\varepsilon_{\alpha 3} = 1.73$$

2.11.1. Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprežanje u korijenu zuba

$$\sigma_{F1} = \frac{F_{t1}}{b \cdot m} \cdot Y_{F1} \cdot Y_{\varepsilon} \cdot K_{F\alpha 1} \leq \sigma_{FP1}$$

$$F_{t1} = \frac{2 \cdot T_1}{d_1} = \frac{2 \cdot 29530}{108} = 546.85 \text{ N}$$

$$b = \lambda \cdot m = 25 \cdot 3 = 75 \text{ mm}$$

$$Y_{F1} = f(z_1, x_1) = (36, 0) = 2.47$$

$$Y_{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon_{\alpha 1}} = \frac{1}{1.73} = 0.578$$

Korektivni faktor q_{L1} :

$$q_{L1} = f\left(d_2 = 162 \text{ mm}, m = 3, \text{ kvaliteta } 8, \frac{F_{t1}}{b} = 7.29\right) = 1$$

$$\frac{F_{t1}}{b} = \frac{546.85}{75} = 7.29 \text{ N/mm}$$

$$\text{za } q_{L1} = 1 > \frac{1}{\varepsilon_{\alpha 1}} = 0.578 \dots K_{F\alpha 1} = q_L \cdot \varepsilon_{\alpha 1} = 1 \cdot 1.73 = 1.73$$

Nakon uvrštavanja, iznos naprezanja u korijenu zuba je sljedeći:

$$\sigma_{F1} = \frac{F_{t1}}{b \cdot m} \cdot Y_{F1} \cdot Y_{\varepsilon} \cdot K_{F\alpha1} = \frac{546.85}{75 \cdot 3} \cdot 2.47 \cdot 0.578 \cdot 1.73 = 6 \text{ N/mm}^2$$

Za Č1531 plameno kaljen:

$$\sigma_{FP1} = \frac{0.7 \cdot \sigma_{Flim}}{S_{F1}} = \frac{0.7 \cdot 270}{2} = 94.5 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{F1} = f(TP \neq 100\%) = 2$$

$$\sigma_{F1} = 6 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{FP1} = 94.5 \text{ N/mm}^2$$

Uvjet je zadovoljen.

2.11.2. Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka

$$\sigma_H = Z_M \cdot Z_H \cdot Z_{\varepsilon} \cdot \sqrt{\frac{i_{1/2} + 1}{i_{1/2}} \cdot \frac{F_{t1}}{b \cdot d_1}} \cdot K_{H\alpha} \leq \sigma_{HP}$$

$$Z_M (\text{Č/Č}) = 189,84 \sqrt{\text{N/mm}^2}$$

$$Z_H = f\left(\frac{x_1 + x_2}{z_1 + z_2} = 0, \beta = 0\right) = 2.5$$

$$Z_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_{\alpha1}}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1.73}{3}} = 0.87$$

$$K_{H\alpha} = 1.3$$

Nakon uvrštavanja slijedi:

$$\sigma_H = 189,84 \cdot 2.5 \cdot 0.87 \cdot \sqrt{\frac{(-1.5) + 1}{(-1.5)} \cdot \frac{546.85}{75 \cdot 108}} \cdot 1.3 = 70.62 \text{ N/mm}^2$$

Za Č 1531 plameno kaljen:

$$S_H = \frac{0.7 \cdot \sigma_{Hlim}}{\sigma_H} = \frac{0.7 \cdot 1100}{70.62} = 10.9$$

Sigurnost je dovoljna, uvjet je zadovoljen.

2.11.3. Kontrola zupčanog para z_2 - z_3

Osni razmak

$$a_{12} = \frac{d_3 - d_2}{2} = \frac{432 - 162}{2} = 135 \text{ mm}$$

Kontrola tjemene zračnosti:

$$c = \frac{d_{a3} - d_{f2}}{2} - a = \frac{426 - 154.5}{2} - 135 = 0.75 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 0.12 \cdot m = 0.12 \cdot 3 = 0.36 \text{ mm}$$

$$0.75 > 0.36 \rightarrow \text{nije potrebno skraćanje tjemena}$$

Nazivna mjera preko nekoliko zubi za kontrolu graničnih odstupanja:

$$\begin{aligned} W_3 &= m \cdot \cos \alpha \cdot (\pi \cdot (z_{w3} - 0.5) + z_3 \cdot \text{ev} \alpha + 2 \cdot x_3 \cdot \text{tg} \alpha) = \\ &= 3 \cdot \cos 20^\circ \cdot (\pi \cdot (17 - 0.5) + 144 \cdot 0.014904 + 2 \cdot 0 \cdot \text{tg} 20^\circ) = \end{aligned}$$

$$W_3 = 152.18 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} z_{w3} &= \frac{z_3}{\pi} \cdot (\tan \alpha - \text{ev} \alpha) - \frac{2 \cdot x_3 \cdot \text{tg} 20^\circ}{\pi} + 0.5 = \\ &= \frac{144}{\pi} \cdot (0.36397 - 0.014904) - \frac{2 \cdot 0 \cdot \text{tg} 20^\circ}{\pi} + 0.5 = 16.5 \end{aligned}$$

$$z_{w3} = 17$$

z_w – mjerni broj zubi nazivne mjere, zaokružuje se na cijeli broj

Stupanj prekrivanja se dobije preko izraza:

$$\varepsilon_{\alpha 2} = \frac{g_\alpha}{p_c} = \frac{g_\alpha}{p \cos \alpha} = e_2 - e_3 + e_a$$

izraz se još može napisati i ovako:

$$\varepsilon_{\alpha 2} = \frac{1}{2\pi} \left[\sqrt{\left(\frac{z_2 + 2}{\cos \alpha}\right)^2 - z_2^2} - \sqrt{\left(\frac{z_3 - 2}{\cos \alpha}\right)^2 - z_3^2} + (z_3 - z_2) \tan \alpha \right]$$

$$\varepsilon_{\alpha 2} = \frac{1}{2\pi} \left[\sqrt{\left(\frac{54+2}{\cos 20^\circ}\right)^2 - 54^2} - \sqrt{\left(\frac{144-2}{\cos 20^\circ}\right)^2 - 144^2} + (144-18) \tan 20^\circ \right]$$

$$\varepsilon_{\alpha 2} = 1.93$$

2.11.3.1. Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprezanje u korijenu zuba

$$\sigma_{F2} = \frac{F_{t2}}{b \cdot m} \cdot Y_{F3} \cdot Y_\varepsilon \cdot K_{F\alpha 3} \leq \sigma_{FP2}$$

$$F_{t2} = \frac{2 \cdot T_2}{d_2} = \frac{2 \cdot 79510}{162} = 981.6 \text{ N}$$

$$b = \lambda \cdot m = 25 \cdot 3 = 75 \text{ mm}$$

$$Y_{F2} = f(z_2, x_2) = (54, 0) = 2.33$$

$$Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_{\alpha 2}} = \frac{1}{1.93} = 0.52$$

Korektivni faktor q_{L1} :

$$q_{L2} = f\left(d_3 = 432 \text{ mm}, m = 3, \text{ kvaliteta } 8, \frac{F_{t2}}{b} = 13\right) = 1$$

$$\frac{F_{t2}}{b} = \frac{981.6}{75} = 13 \text{ N/mm}$$

$$\text{za } q_{L2} = 1 > \frac{1}{\varepsilon_{\alpha 2}} = 0.52 \dots K_{F\alpha 2} = q_L \cdot \varepsilon_{\alpha 2} = 1 \cdot 1.93 = 1.93$$

Nakon uvrštavanja, iznos naprezanja u korijenu zuba je sljedeći:

$$\sigma_{F2} = \frac{F_{t2}}{b \cdot m} \cdot Y_{F2} \cdot Y_\varepsilon \cdot K_{F\alpha 2} = \frac{981.6}{75 \cdot 3} \cdot 2.33 \cdot 0.52 \cdot 1.93 = 10.2 \text{ N/mm}^2$$

Za Č1531 plameno kaljen:

$$\sigma_{FP2} = \frac{0.7 \cdot \sigma_{Flim}}{S_{F2}} = \frac{0.7 \cdot 270}{2} = 94.5 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{F2} = f(TP \neq 100\%) = 2$$

$$\sigma_{F2} = 10.2 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{FP2} = 136.11 \text{ N/mm}^2$$

Uvjet je zadovoljen.

2.11.3.2. Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka

$$\sigma_H = Z_M \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{i_{2/3} + 1}{i_{2/3}} \cdot \frac{F_{t2}}{b \cdot d_2}} \cdot K_{H\alpha} \leq \sigma_{HP}$$

$$Z_M (\text{Č/Č}) = 189,84 \sqrt{\text{N/mm}^2}$$

$$Z_H = f\left(\frac{x_2 + x_3}{z_2 + z_3} = 0, \beta = 0\right) = 2.5$$

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_{\alpha 3}}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1.93}{3}} = 0.83$$

$$K_{H\alpha} = 1.4$$

Nakon uvrštavanja slijedi:

$$\sigma_H = 189,84 \cdot 2.5 \cdot 0.83 \cdot \sqrt{\frac{2.67 + 1}{2.67} \cdot \frac{981.6}{75 \cdot 162}} \cdot 1.4 = 155.32 \text{ N/mm}^2$$

Za Č 1531 plameno kaljen:

$$S_H = \frac{0.7 \cdot \sigma_{Hlim}}{\sigma_H} = \frac{0.7 \cdot 1100}{316.7} = 2.43$$

Sigurnost je dovoljna. Uvjet je zadovoljen.

2.11.3.3. Određivanje materijala zupčanika z_4

Predviđa se da je materijal zupčanika z_2 kaljeni čelik, i da je $\sigma_{F 2,3} = 20 \text{ N/mm}^2$.

$$\sigma_{F lim} = \frac{\sigma_{F 2,3} \cdot S_F}{0.7} = \frac{20 \cdot 2}{0.7} = 57.14 \text{ N/mm}^2$$

Odabran je materijal: Č1531, plameno kaljen, sa $\sigma_{F lim} = 270 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{FP} = \frac{0.7 \cdot \sigma_{F lim}}{S_F} = \frac{0.7 \cdot 270}{2}$$

$$\sigma_{FP} = 94.5 \text{ N/mm}^2 > 20 \text{ N/mm}^2$$

Uvjet je zadovoljen.

2.11.4. Kontrola zupčanog para z_4 - z_5

Osni razmak

$$a_{45} = \frac{d_4 + d_5}{2} = \frac{108 + 162}{2} = 135 \text{ mm}$$

Kontrola tjemene zračnosti:

$$c = a - \frac{d_{a4} + d_{f5}}{2} = 135 - \frac{114 + 154.5}{2} = 0.75 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 0.12 \cdot m = 0.12 \cdot 3 = 0.36 \text{ mm}$$

$$0.75 > 0.36 \rightarrow \text{nije potrebno skraćenje tjemena}$$

Nazivna mjera preko nekoliko zubi za kontrolu graničnih odstupanja:

$$\begin{aligned} W_4 &= m \cdot \cos \alpha \cdot (\pi \cdot (z_{w4} - 0.5) + z_4 \cdot \operatorname{ev} \alpha + 2 \cdot x_4 \cdot \operatorname{tg} \alpha) = \\ &= 3 \cdot \cos 20^\circ \cdot (\pi \cdot (5 - 0.5) + 36 \cdot 0.014904 + 2 \cdot 0 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ) = \end{aligned}$$

$$W_4 = 41.37 \text{ mm}$$

$$z_{w4} = \frac{z_4}{\pi} \cdot (\tan \alpha - \operatorname{ev} \alpha) - \frac{2 \cdot x_4 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ}{\pi} + 0.5 =$$

$$= \frac{36}{\pi} \cdot (0.36397 - 0.014904) - \frac{2 \cdot 0 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ}{\pi} + 0.5 = 4.5$$

$$z_{w4} = 5$$

z_w – mjerni broj zubi nazivne mjere, zaokružuje se na cijeli broj

$$\begin{aligned} W_5 &= m \cdot \cos \alpha \cdot (\pi \cdot (z_{w5} - 0.5) + z_5 \cdot \operatorname{ev} \alpha + 2 \cdot x_5 \cdot \operatorname{tg} \alpha) = \\ &= 3 \cdot \cos 20^\circ \cdot (\pi \cdot (7 - 0.5) + 54 \cdot 0.014904 + 2 \cdot 0 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ) = \end{aligned}$$

$$W_5 = 59.83 \text{ mm}$$

$$z_{w5} = \frac{z_5}{\pi} \cdot (\tan \alpha - \operatorname{ev} \alpha) - \frac{2 \cdot x_5 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ}{\pi} + 0.5 =$$

$$= \frac{54}{\pi} \cdot (0.36397 - 0.014904) - \frac{2 \cdot 0 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ}{\pi} + 0.5 = 6.5$$

$$z_{w2} = 7$$

Stupanj prekrivanja se dobije preko izraza:

$$\varepsilon_{\alpha 4} = \frac{g_{\alpha}}{p_c} = \frac{g_{\alpha}}{p \cos \alpha} = e_4 + e_5 - e_a$$

izraz se još može napisati i ovako:

$$\varepsilon_{\alpha 4} = \frac{1}{2\pi} \left[\sqrt{\left(\frac{z_4 + 2}{\cos \alpha}\right)^2 - z_4^2} + \sqrt{\left(\frac{z_5 + 2}{\cos \alpha}\right)^2 - z_5^2} - (z_4 + z_5) \tan \alpha \right]$$

$$\varepsilon_{\alpha 4} = \frac{1}{2\pi} \left[\sqrt{\left(\frac{36 + 2}{\cos 20^\circ}\right)^2 - 36^2} + \sqrt{\left(\frac{54 + 2}{\cos 20^\circ}\right)^2 - 54^2} - (36 + 54) \tan 20^\circ \right]$$

$$\varepsilon_{\alpha 4} = 1.73$$

2.11.4.1. Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprezanje u korijenu zuba

$$\sigma_{F4} = \frac{F_{t4}}{b \cdot m} \cdot Y_{F4} \cdot Y_{\varepsilon} \cdot K_{F\alpha 4} \leq \sigma_{FP4}$$

$$F_{t4} = \frac{2 \cdot T_4}{d_1} = \frac{2 \cdot 105760}{108} = 1958.52 \text{ N}$$

$$b = \lambda \cdot m = 25 \cdot 3 = 75 \text{ mm}$$

$$Y_{F4} = f(z_1, x_1) = (36, 0) = 2.47$$

$$Y_{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon_{\alpha 4}} = \frac{1}{1.73} = 0.578$$

Korektivni faktor q_{L1} :

$$q_{L4} = f\left(d_5 = 162 \text{ mm}, m = 3, \text{ kvaliteta } 8, \frac{F_{t4}}{b} = 26.11\right) = 1$$

$$\frac{F_{t4}}{b} = \frac{1958.52}{75} = 26.11 \text{ N/mm}$$

$$\text{za } q_{L4} = 1 > \frac{1}{\varepsilon_{\alpha 4}} = 0.578 \dots K_{F\alpha 4} = q_L \cdot \varepsilon_{\alpha 4} = 1 \cdot 1.73 = 1.73$$

Nakon uvrštavanja, iznos naprezanja u korijenu zuba je sljedeći:

$$\sigma_{F4} = \frac{F_{t4}}{b \cdot m} \cdot Y_{F4} \cdot Y_{\varepsilon} \cdot K_{F\alpha4} = \frac{1958.52}{75 \cdot 3} \cdot 2.47 \cdot 0.578 \cdot 1.73 = 21.5 \text{ N/mm}^2$$

Za Č1531 plameno kaljen:

$$\sigma_{FP4} = \frac{0.7 \cdot \sigma_{Flim}}{S_{F1}} = \frac{0.7 \cdot 270}{2} = 94.5 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{F4} = f(TP \neq 100\%) = 2$$

$$\sigma_{F4} = 21.5 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{FP4} = 94.5 \text{ N/mm}^2$$

Uvjet je zadovoljen.

2.11.4.2. Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka

$$\sigma_H = Z_M \cdot Z_H \cdot Z_{\varepsilon} \cdot \sqrt{\frac{i_{4/5} + 1}{i_{4/5}} \cdot \frac{F_{t4}}{b \cdot d_4} \cdot K_{H\alpha}} \leq \sigma_{HP}$$

$$Z_M (\check{C}/\check{C}) = 189,84 \sqrt{\text{N/mm}^2}$$

$$Z_H = f\left(\frac{x_4 + x_5}{z_4 + 5} = 0, \beta = 0\right) = 2.5$$

$$Z_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_{\alpha4}}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1.73}{3}} = 0.87$$

$$K_{H\alpha} = 1.3$$

Nakon uvrštavanja slijedi:

$$\sigma_H = 189,84 \cdot 2.5 \cdot 0.87 \cdot \sqrt{\frac{(-1.5) + 1}{(-1.5)} \cdot \frac{1958.52}{75 \cdot 108} \cdot 1.3} = 133.65 \text{ N/mm}^2$$

Za Č 1531 plameno kaljen:

$$S_H = \frac{0.7 \cdot \sigma_{Hlim}}{\sigma_H} = \frac{0.7 \cdot 1100}{133.65} = 5.76$$

Sigurnost je dovoljna, uvjet je zadovoljen.

2.11.5. Kontrola zupčanog para z_5 - z_6

Osni razmak

$$a_{5,6} = \frac{d_6 - d_5}{2} = \frac{432 - 162}{2} = 135 \text{ mm}$$

Kontrola tjemene zračnosti:

$$c = \frac{d_{a6} - d_{f5}}{2} - a = \frac{426 - 154.5}{2} - 135 = 0.75 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 0.12 \cdot m = 0.12 \cdot 3 = 0.36 \text{ mm}$$

$$0.75 > 0.36 \rightarrow \text{nije potrebno skraćanje tjemena}$$

Nazivna mjera preko nekoliko zubi za kontrolu graničnih odstupanja:

$$\begin{aligned} W_6 &= m \cdot \cos \alpha \cdot (\pi \cdot (z_{w3} - 0.5) + z_6 \cdot \text{ev} \alpha + 2 \cdot x_6 \cdot \text{tg} \alpha) = \\ &= 3 \cdot \cos 20^\circ \cdot (\pi \cdot (17 - 0.5) + 144 \cdot 0.014904 + 2 \cdot 0 \cdot \text{tg} 20^\circ) = \end{aligned}$$

$$W_6 = 152.18 \text{ mm}$$

$$z_{w6} = \frac{z_6}{\pi} \cdot (\tan \alpha - \text{ev} \alpha) - \frac{2 \cdot x_6 \cdot \text{tg} 20^\circ}{\pi} + 0.5 =$$

$$= \frac{144}{\pi} \cdot (0.36397 - 0.014904) - \frac{2 \cdot 0 \cdot \text{tg} 20^\circ}{\pi} + 0.5 = 16.5$$

$$z_{w6} = 17$$

z_w – mjerni broj zubi nazivne mjere, zaokružuje se na cijeli broj

Stupanj prekrivanja se dobije preko izraza:

$$\varepsilon_{\alpha 5} = \frac{g_\alpha}{p_c} = \frac{g_\alpha}{p \cos \alpha} = e_5 - e_6 + e_a$$

izraz se još može napisati i ovako:

$$\varepsilon_{\alpha 5} = \frac{1}{2\pi} \left[\sqrt{\left(\frac{z_5 + 2}{\cos \alpha}\right)^2 - z_5^2} - \sqrt{\left(\frac{z_6 - 2}{\cos \alpha}\right)^2 - z_6^2} + (z_6 - z_5) \tan \alpha \right]$$

$$\varepsilon_{\alpha 5} = \frac{1}{2\pi} \left[\sqrt{\left(\frac{54+2}{\cos 20^\circ}\right)^2 - 54^2} - \sqrt{\left(\frac{144-2}{\cos 20^\circ}\right)^2 - 144^2} + (144-18) \tan 20^\circ \right]$$

$$\varepsilon_{\alpha 5} = 1.93$$

2.11.5.1. Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprezanje u korijenu zuba

$$\sigma_{F5} = \frac{F_{t5}}{b \cdot m} \cdot Y_{F5} \cdot Y_\varepsilon \cdot K_{F\alpha 5} \leq \sigma_{FP5}$$

$$F_{t5} = \frac{2 \cdot T_5}{d_5} = \frac{2 \cdot 283750}{162} = 3503.08 \text{ N}$$

$$b = \lambda \cdot m = 25 \cdot 3 = 75 \text{ mm}$$

$$Y_{F5} = f(z_5, x_5) = (54, 0) = 2.33$$

$$Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_{\alpha 5}} = \frac{1}{1.93} = 0.52$$

Korektivni faktor q_{L1} :

$$q_{L5} = f\left(d_6 = 432 \text{ mm}, m = 3, \text{kvaliteta } 8, \frac{F_{t5}}{b} = 46.7\right) = 1$$

$$\frac{F_{t5}}{b} = \frac{3503.08}{75} = 46.7 \text{ N/mm}$$

$$\text{za } q_{L5} = 1 > \frac{1}{\varepsilon_{\alpha 5}} = 0.52 \dots K_{F\alpha 5} = q_L \cdot \varepsilon_{\alpha 5} = 1 \cdot 1.93 = 1.93$$

Nakon uvrštavanja, iznos naprezanja u korijenu zuba je sljedeći:

$$\sigma_{F5} = \frac{F_{t5}}{b \cdot m} \cdot Y_{F5} \cdot Y_\varepsilon \cdot K_{F\alpha 5} = \frac{3503.08}{75 \cdot 3} \cdot 2.33 \cdot 0.52 \cdot 1.93 = 36.41 \text{ N/mm}^2$$

Za Č1531 plameno kaljen:

$$\sigma_{FP5} = \frac{0.7 \cdot \sigma_{Flim}}{S_{F2}} = \frac{0.7 \cdot 270}{2} = 94.5 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{F5} = f(TP \neq 100\%) = 2$$

$$\sigma_{F5} = 36.41 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{FP5} = 94.5 \text{ N/mm}^2$$

Uvjet je zadovoljen.

2.11.5.2. Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka

$$\sigma_H = Z_M \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{i_{5/6} + 1}{i_{5/6}} \cdot \frac{F_{t5}}{b \cdot d_5}} \cdot K_{H\alpha} \leq \sigma_{HP}$$

$$Z_M (\text{Č/Č}) = 189,84 \sqrt{\text{N/mm}^2}$$

$$Z_H = f\left(\frac{x_5 + x_6}{z_5 + z_6} = 0, \beta = 0\right) = 2.5$$

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_{\alpha 5}}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1.93}{3}} = 0.83$$

$$K_{H\alpha} = 1.4$$

Nakon uvrštavanja slijedi:

$$\sigma_H = 189,84 \cdot 2.5 \cdot 0.83 \cdot \sqrt{\frac{2.67 + 1}{2.67} \cdot \frac{3503.08}{75 \cdot 162}} \cdot 1.4 = 293.42 \text{ N/mm}^2$$

Za Č 1531 plameno kaljen:

$$S_H = \frac{0.7 \cdot \sigma_{Hlim}}{\sigma_H} = \frac{0.7 \cdot 1100}{293.42} = 2.62$$

Sigurnost je dovoljna. Uvjet je zadovoljen.

2.11.5.3. Određivanje materijala zupčanika z_6

Predviđa se da je materijal zupčanika z_6 kaljeni čelik, i da je $\sigma_{F 5,6} = 45 \text{ N/mm}^2$.

$$\sigma_{F lim} = \frac{\sigma_{F 2,3} \cdot S_F}{0.7} = \frac{45 \cdot 2}{0.7} = 128.57 \text{ N/mm}^2$$

Odabran je materijal: Č1531, plameno kaljen, sa $\sigma_{F lim} = 270 \text{ N/mm}^2$

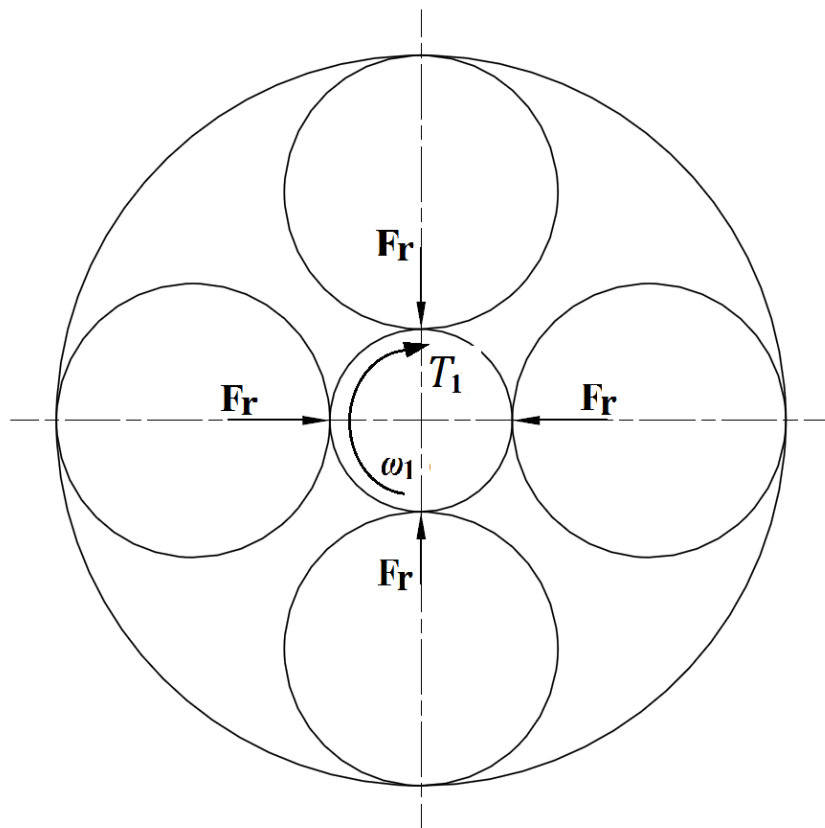
$$\sigma_{FP} = \frac{0.7 \cdot \sigma_{F lim}}{S_F} = \frac{0.7 \cdot 270}{2}$$

$$\sigma_{FP} = 94.5 \text{ N/mm}^2 > 45 \text{ N/mm}^2$$

Uvjet je zadovoljen.

3. PRORAČUN VRATILA

Kod planetarnog prijenosnika za proračun vratila mjerodavan je samo moment uvijanja, budući da se radijalne sile poništavaju (slika 6.).



Slika 6. Opterećenje vratila

Ulazno vratilo A je ujedno i vratilo elektromotora, tako da njega ne treba proračunavati. Ono se uklini na zupčanik 1, dok se preko njega, te zupčanika 2 i ručice R1 okretni moment prenosi na vratilo B, koje povezuje ručicu R1 sa zupčanikom 4. Za proračun torzijski opterećenog vratila preporuča se da se najmanji potrebni promjer d odredi unaprijed prema iskustvenim vrijednostima dopuštenih naprezanja.

Jednadžba za moment otpora presjeka W_t protiv torzije na vratilu s utorom je sljedeća:

$$W_t = 0.2d^3$$

Također, iz uvjeta:

$$\tau_t = \frac{T}{W_t}$$

Slijedi da je najmanji promjer vratila:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{T}{0.2 \cdot \tau_{dop}}}$$

Iz [4] slijedi za Č0645: $\tau_{dop} = 40 \dots 60 \text{ Nmm}$

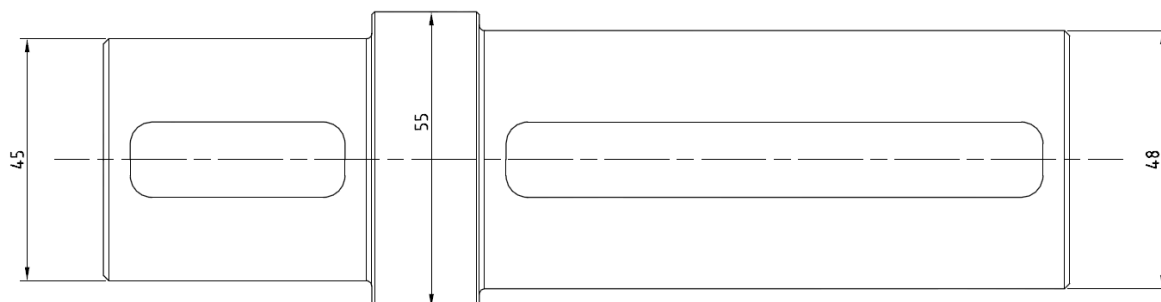
3.1. Proračun vratila B

Za okretni moment T_B , i za : $\tau_{dop} = 70 \text{ Nmm}$, najmanji promjer vratila B iznosi:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{T_B}{0.2 \cdot \tau_{dop}}} = \sqrt[3]{\frac{528660}{0.2 \cdot 60}}$$

$$d_{min} = 35.32 \text{ mm}$$

Odabrano je: $d_{Bmin} = 45 \text{ mm}$, ostale dimenzije vratila prikazane su na slici 7.



Slika 7. Vratilo B

Na vratilo B su naklinjeni ručica R1 i zupčanik 4 pomoću pera standardnog za taj promjer vratila, koje dimenzije $b \times h$ iznose $14 \times 9 \text{ mm}$. Dužina manjeg pera je 40 mm , a većeg 100 mm .

Provjera pera:

$$p = \frac{F_t}{0.5 \cdot h \cdot l_t \cdot i}$$

Gdje su:

$$F_t = \frac{T_B}{r} = \frac{528660}{22.5} = 23496 \text{ N}$$

l_t – duljina pera

i – broj pera

Za manje pero, duljine 40mm bočni tlak iznosi:

$$p = \frac{23496}{0.5 \cdot 9 \cdot 40 \cdot 1} = 130.53 \text{ N/mm}^2$$

Prema [4], za jednostrano opterećenje i lake udare:

$$p_{dop} = 100 \text{ N/mm}^2$$

Da bi se zadovoljio uvjet dopuštenog tlaka, odabrana su dva pera.

$$p = \frac{23496}{0.5 \cdot 9 \cdot 40 \cdot 2} = 65.27 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > p_{dop}$$

Za veće pero, duljine 100 mm naprezanje iznosi:

$$F_t = \frac{T_B}{r} = \frac{528660}{24} = 22027.5 \text{ N}$$

$$p = \frac{22027.6}{0.5 \cdot 9 \cdot 100 \cdot 1} = 48.95 \text{ N/mm}^2 > p_{dop}$$

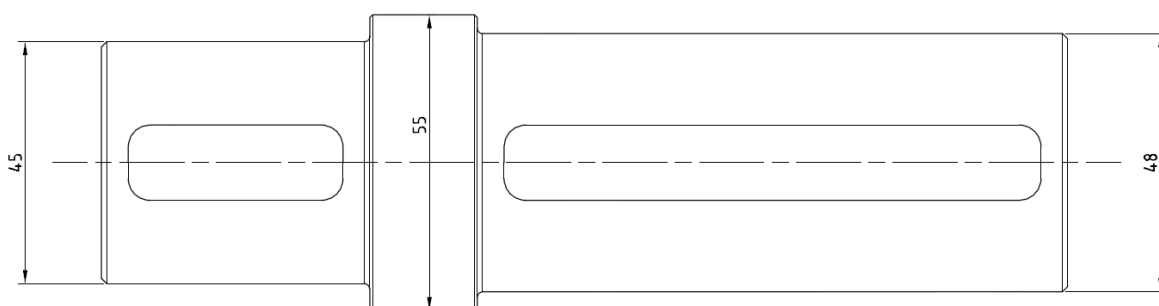
3.2. Proračun vratila F

Za okretni moment T_F , i za : $\tau_{dop} = 70 \text{ Nmm}$, najmanji promjer vratila B iznosi:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{T_B}{0.2 \cdot \tau_{dop}}} = \sqrt[3]{\frac{1892600}{0.2 \cdot 50}}$$

$$d_{min} = 57.41 \text{ mm}$$

Odabrano je: $d_{Bmin} = 45 \text{ mm}$, ostale dimenzije vratila prikazane su na slici 7.



Slika 8. Vratilo B

Na vratilo F su naklinjena je ručica R2 pomoću pera standardnog za taj promjer vratilo, koje dimenzije $b \times h$ iznose $18 \times 11 \text{ mm}$. Dužina manjeg pera je 40 mm , a većeg 100 mm .

Provjera pera:

$$p = \frac{F_t}{0.5 \cdot h \cdot l_t \cdot i}$$

Gdje su:

$$F_t = \frac{T_B}{r} = \frac{1892600}{30} = 63086.67 \text{ N}$$

l_t – duljina pera

i – broj pera

Za manje pero, duljine 40 mm bočni tlak iznosi:

$$p = \frac{63086.67}{0.5 \cdot 11 \cdot 40 \cdot 1} = 286.76 \text{ N/mm}^2$$

Prema [4], za jednostrano opterećenje i jake udare:

$$p_{dop} = 100 \text{ N/mm}^2$$

Da bi se zadovoljio uvjet dopuštenog tlaka, odabrana su tri klina.

$$p = \frac{63086.67}{0.5 \cdot 9 \cdot 40 \cdot 3} = 95.59 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > p_{dop}$$

Za veće pero, duljine 100 mm naprezanje iznosi:

$$F_t = \frac{T_B}{r} = \frac{1892.6}{30} = 63086.67 \text{ N}$$

$$p = \frac{63086.67}{0.5 \cdot 11 \cdot 100 \cdot 1} = 114.7 \text{ N/mm}^2$$

Da bi se zadovoljio uvjet dopuštenog tlaka, odabrana su dva klina.

$$p = \frac{63086.67}{0.5 \cdot 11 \cdot 100 \cdot 2} = 57.33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > p_{dop}$$

3.3. Proračun osovine satelita

Osovina je opterećena samo na savijanje, tako da njezin minimalni promjer dobimo iz izraza :

$$\sigma_f = \frac{M}{W}$$

$$d_x = \sqrt[3]{\frac{M_x}{0.1 \cdot \sigma_{fdop}}}$$

Iz [4] slijedi za Č0545: $\sigma_{dop} = 40 \dots 60 \text{ Nmm}$

3.3.1. Proračun osovine za zupčnik 2

Težina zupčanika 2 iznosi

$$G_{z2} = 10.97 \cdot 9.81 = 107.62 \text{ N}$$

Obodna sila na kinematskoj kružnici:

$$F_o = \frac{2 \cdot T_2}{d_{z2}} = \frac{2 \cdot 132165}{162} = 1631.67 \text{ N}$$

$$F_r = F_o \cdot \tan \alpha = 1631.67 \cdot \tan 20^\circ = 539.88 \text{ N}$$

Ukupna sila:

$$F_2 = F_r + G_{z2} = 539.88 + 107.62$$

$$F_2 = 647.5 \text{ N}$$

Dužina osovina je 120mm, ali oslonci su na razmaku 60mm. Moment savijanja iznosi:

$$M_x = F_2 \frac{l}{2} = 647.5 \cdot \frac{60}{2} = 19452 \text{ Nmm}$$

$$d_x = \sqrt[3]{\frac{M_x}{0.1 \cdot \sigma_{fdop}}} = \sqrt[3]{\frac{19452}{0.1 \cdot 50}}$$

$$d_x = 15.73 \text{ mm}$$

3.3.1. Proračun osovine za zupčnik 5

Težina zupčanika 2 iznosi

$$G_{z2} = 10.97 \cdot 9.81 = 107.62 \text{ N}$$

Obodna sila na kinematskoj kružnici:

$$F_o = \frac{2 \cdot T_2}{d_{z2}} = \frac{2 \cdot 465650}{162} = 5748.77 \text{ N}$$

$$F_r = F_o \cdot \tan \alpha = 5748.77 \cdot \tan 20^\circ = 2092.38 \text{ N}$$

Ukupna sila:

$$F_2 = F_r + G_{z2} = 2092.38 + 107.62$$

$$F_2 = 2200 \text{ N}$$

Dužina osovina je 120mm, ali oslonci su na razmaku 60mm. Moment savijanja iznosi:

$$M_x = F_2 \frac{l}{2} = 2200 \cdot \frac{60}{2} = 66000 \text{ Nmm}$$

$$d_x = \sqrt[3]{\frac{M_x}{0.1 \cdot \sigma_{fdop}}} = \sqrt[3]{\frac{66000}{0.1 \cdot 50}}$$

$$d_x = 23.63 \text{ mm}$$

Za osovine zupčanika 2 i zupčanika 5 odabran je promjer 30 mm.

4. PRORAČUN LEŽAJEVA

Prema katalogu FAG [7], proračun za dinamičku moć nošenja je sljedeći:

$$C_1 = \frac{f_t \cdot f_L}{f_n} \cdot F_2$$

Za zupčanik 2:

Faktor tvrdoće:

$$f_t = 1 \text{ za } t < 120^\circ\text{C}$$

Faktor pogonskih uvjeta:

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}} = \sqrt[3]{\frac{12500}{500}} = 2.92$$

Faktor okretanja:

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33.33}{n_{2R1}}} = \sqrt[3]{\frac{33.33}{(323.33 - 196)}} = 0.63$$

Nakon uvrštavanja:

$$C_1 = \frac{1 \cdot 2.92}{0.63} \cdot 647.5$$

$$C_1 = 3001 \text{ N}$$

Za zupčanik 5:

Faktor tvrdoće:

$$f_t = 1 \text{ za } t < 120^\circ\text{C}$$

Faktor pogonskih uvjeta:

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}} = \sqrt[3]{\frac{12500}{500}} = 2.92$$

Faktor okretanja:

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33.33}{n_{5R2}}} = \sqrt[3]{\frac{33.33}{(64.66 - 38.8)}} = 1.13$$

Nakon uvrštavanja:

$$C_1 = \frac{1 \cdot 2.92}{1.13} \cdot 2200$$

$$C_1 = 7259.12 \text{ N N}$$

Za oba zupčanika odabran je ležaj prema HRN.C3.521

Valjni ležaj 6206

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$D = 62 \text{ mm}$$

$$B = 16 \text{ mm}$$

$$r = 1 \text{ mm}$$

$$C_1 = 20700 \text{ N}$$

Oba vratila su uležištena sa ukupno 4 ležaja, i svi su na promjeru 80 mm. S obzirom da su veće sile u drugom stupnju prijenosnika, prema njemu će se izabrati ležaj.

Faktor tvrdoće:

$$f_t = 1 \text{ za } t < 120^\circ\text{C}$$

Faktor pogonskih uvjeta:

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}} = \sqrt[3]{\frac{12500}{500}} = 2.92$$

Faktor okretanja:

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33.33}{n_{5R2}}} = \sqrt[3]{\frac{33.33}{(196 - 38.8)}} = 0.596$$

Nakon uvrštavanja:

$$C_1 = \frac{1 \cdot 2.92}{0.596} \cdot 2200$$

$$C_1 = 10778.52 \text{ N N}$$

Odabran je ležaj prema HRN.C3.521

Valjni ležaj 6206

$$d = 80 \text{ mm}$$

$$D = 125 \text{ mm}$$

$$B = 22 \text{ mm}$$

$$r = 1.1 \text{ mm}$$

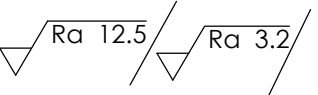
$$C_1 = 51000 \text{ N}$$

5. ZAKLJUČAK

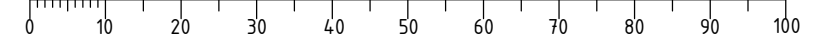
Nakon cijelokupnog proračuna reduktora, vidi se da je tražena izlazna brzina vrtnje od 35 min^{-1} približno ostvarena s konačnom brzinom vrtnje od 38.8 min^{-1} . Razlika u izlaznoj brzini javlja se kao posljedica ostvarivanja standardnog prijenosnog omjera u oba stupnja prijenosnika, kao i ukupnog standardnog prijenosnog omjera planetarnog prijenosnika. Također, oba stupnja su proračunata kao identičan planetarni prijenosnik 1VU iz dva razloga. Prvi i manje važan prilikom odlučivanja na tu opciju, je da se u konačnom sklopu prijenosnika nalazi što više istih dijelova, a drugi razlog je postizanje uvjeta da se na ulazno vratilo koje dolazi s elektromotorom može nakloniti zupčanik 1. Negativna strana te odluke je povećanje ukupne mase prijenosnika, koja je naravno veća nego da je prvi stupanj prijenosnika manjih dimenzija. Nakon konstruiranja planetarnog prijenosnika slijedila je razrada konstrukcije miješalice. Nakon mnogo isprobavanja i ispitivanja raznih opcija, pala je odluka da se sklop prijenosnika i elektromotora prirubnički spoje na poklopac spremnika miješalice. Cijelokupna konstrukcija miješalice je osigurana temeljnim vijcima za podlogu.

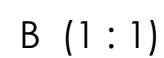
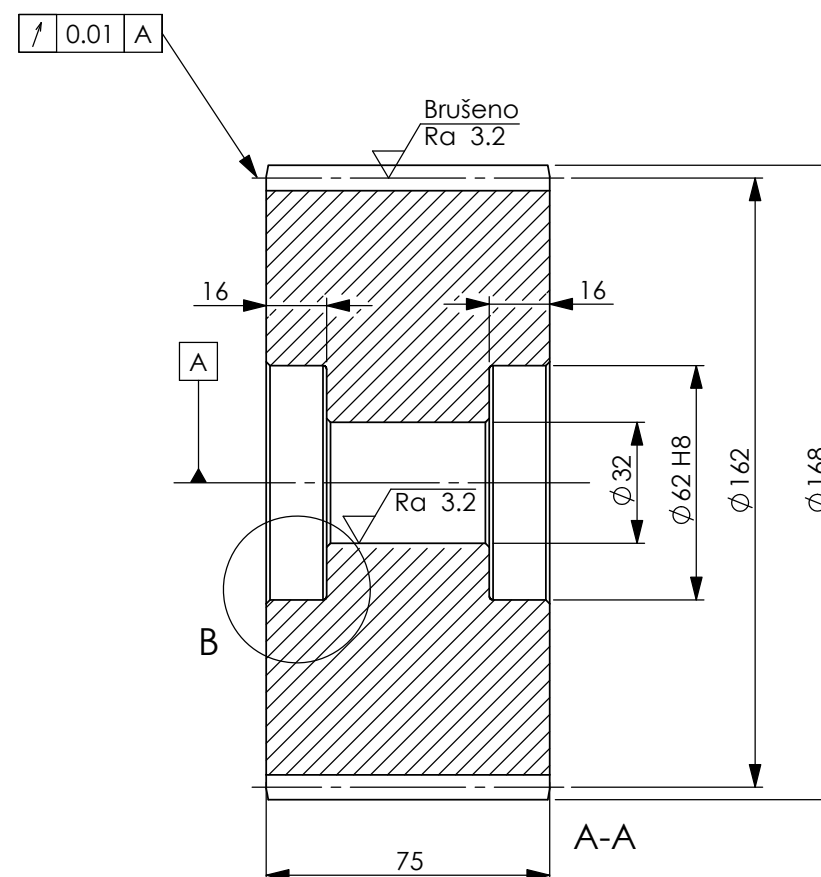
6. POPIS LITERATURE

- [1] Opalić, M., Prijenosnici snage i gibanja, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1998
- [2] Oberšmit, E., Ozubljenja i zupčanici, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1982
- [3] http://koncar-mes.hr/admin/pdf_h/KATALOG_ELEKTROMOTORI.pdf
- [4] Decker, K.H., Elementi strojeva, Tehnička knjiga, Zagreb 2006
- [5] Kraut, B., Strojarski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb 1986
- [6] Cvirn, Ž., Rastavljivi spojevi, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 2000.
- [7] www.fag.com
- [8] <http://www.rotometal-promet.hr>



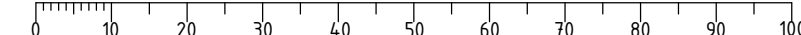
Broj naziva - code		Projektirao	16.02.2013.	Ivan Lijović	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
		Razradio	16.02.2013.	Ivan Lijović		
		Crtao	16.02.2013.	Ivan Lijović		
		Pregledao		prof. Milan Opalić		
		Mentor		prof. Milan Opalić		
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj: IL-1001-001	
14P7	-11 -29				R. N. broj: IL-1001-001	
Ø 48H7	+25 0	Napomena: Plameno kaljen			Konstruiranje i razvoj proizvoda	Kopija 
	Ø 80k6					
		Materijal: Č1531	Masa: 5.056 Kg	ZAVRŠNI RAD		
			Naziv: Zupčanik 1		Pozicija: 1	Format: A3
						Mjerilo originala
		1:1	Crtež broj: 1001-001			List: 1

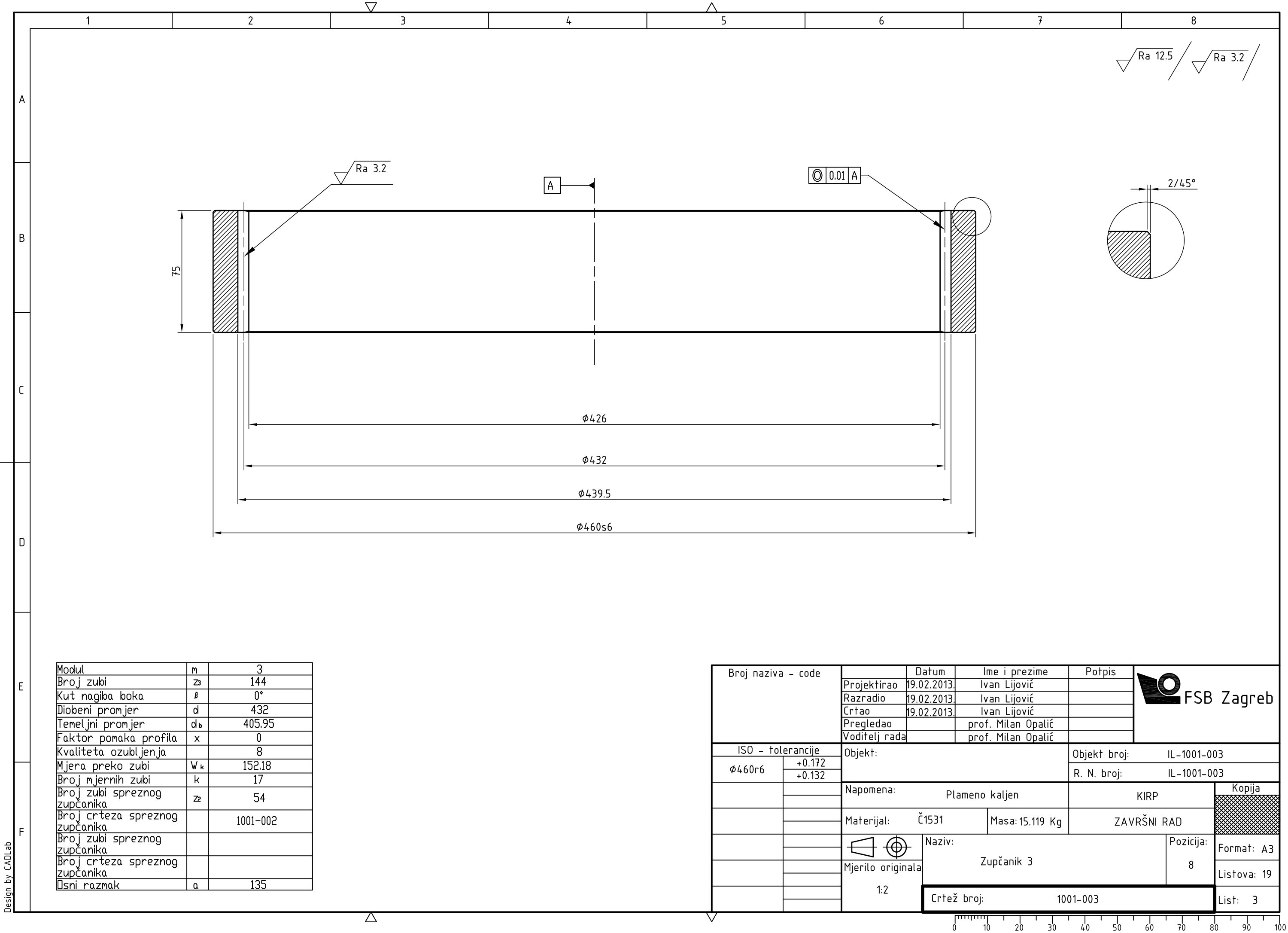




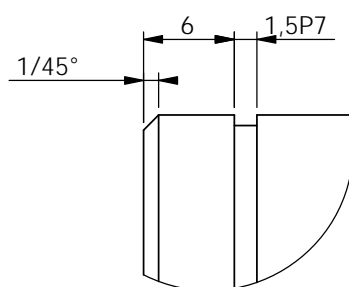
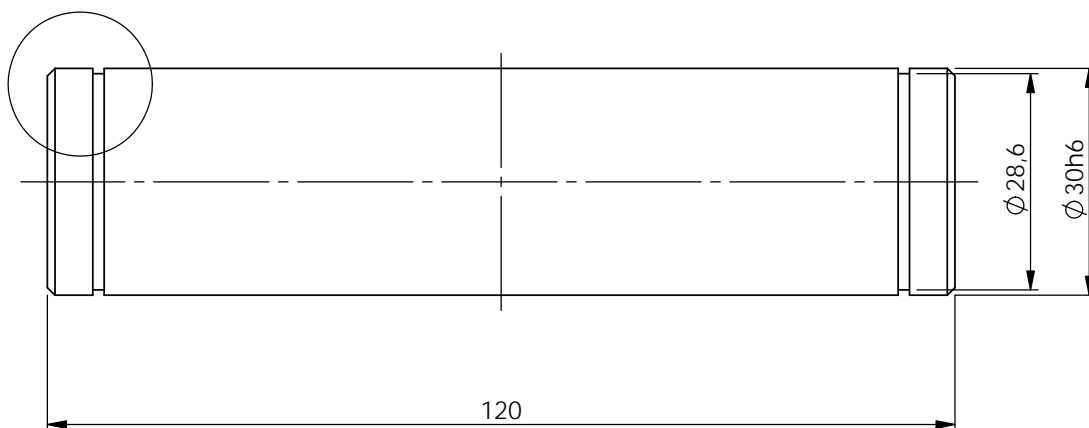
Modul	m	3
Broj zubi	Z_2	54
Kut nagiba boka	β	0°
Diobeni promjer	d	162
Temeljni promjer	d_b	152.23
Faktor pomaka profila	x	0
Kvaliteta ozubljenja		8
Mjera preko zubi	W_k	59.83
Broj mjernih zubi	k	7
Broj zubi spreznog zupčanika	Z_1	36
Broj crteža spreznog zupčanika		1001-001
Broj zubi spreznog zupčanika	Z_3	144
Broj crteža spreznog zupčanika		1001-003
Osnj razmak	a	135

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	<div>FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>	
		Projektirao	16.02.2013.	Ivan Lijović		
		Razradio	16.02.2013.	Ivan Lijović		
		Crtao	16.02.2013.	Ivan Lijović		
		Pregledao		prof. Milan Opalić		
		Mentor		prof. Milan Opalić		
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	IL-1001-002
Ø 62H8	+45 0				R. N. broj:	IL-1001-002
		Napomena: Plameno kaljen			Konstruiranje i razvoj proizvoda	Kopija
		Materijal: Č1531	Masa: 10.97 Kg	ZAVRŠNI RAD		
			Naziv: Zupčanik 2			Pozicija: 2
		Mjerilo originala				Format: A3
		1:2	Crtež broj: 1001-002			Listova: 19
						List: 2



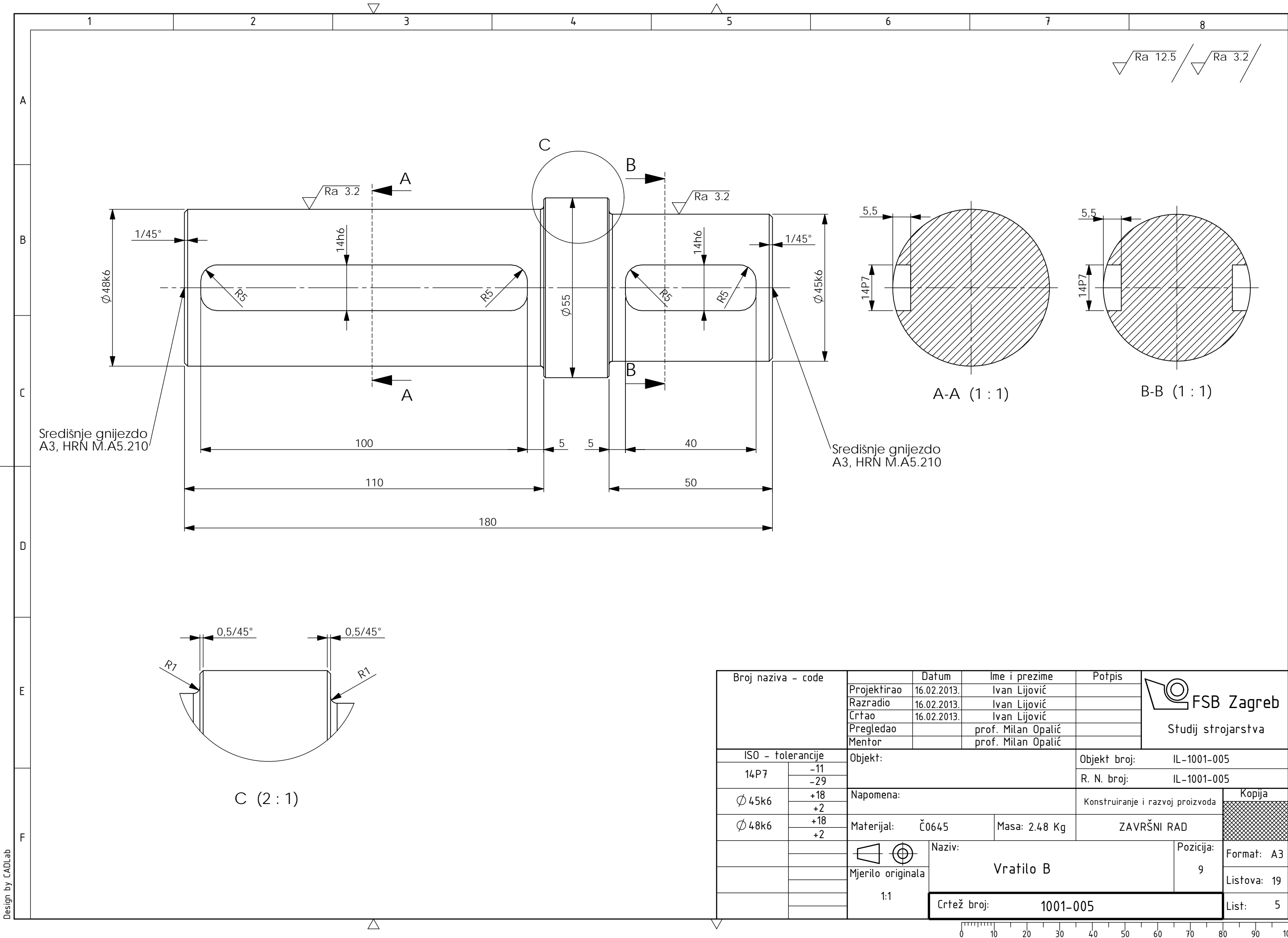


A

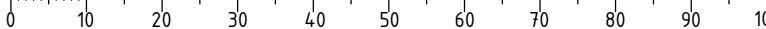


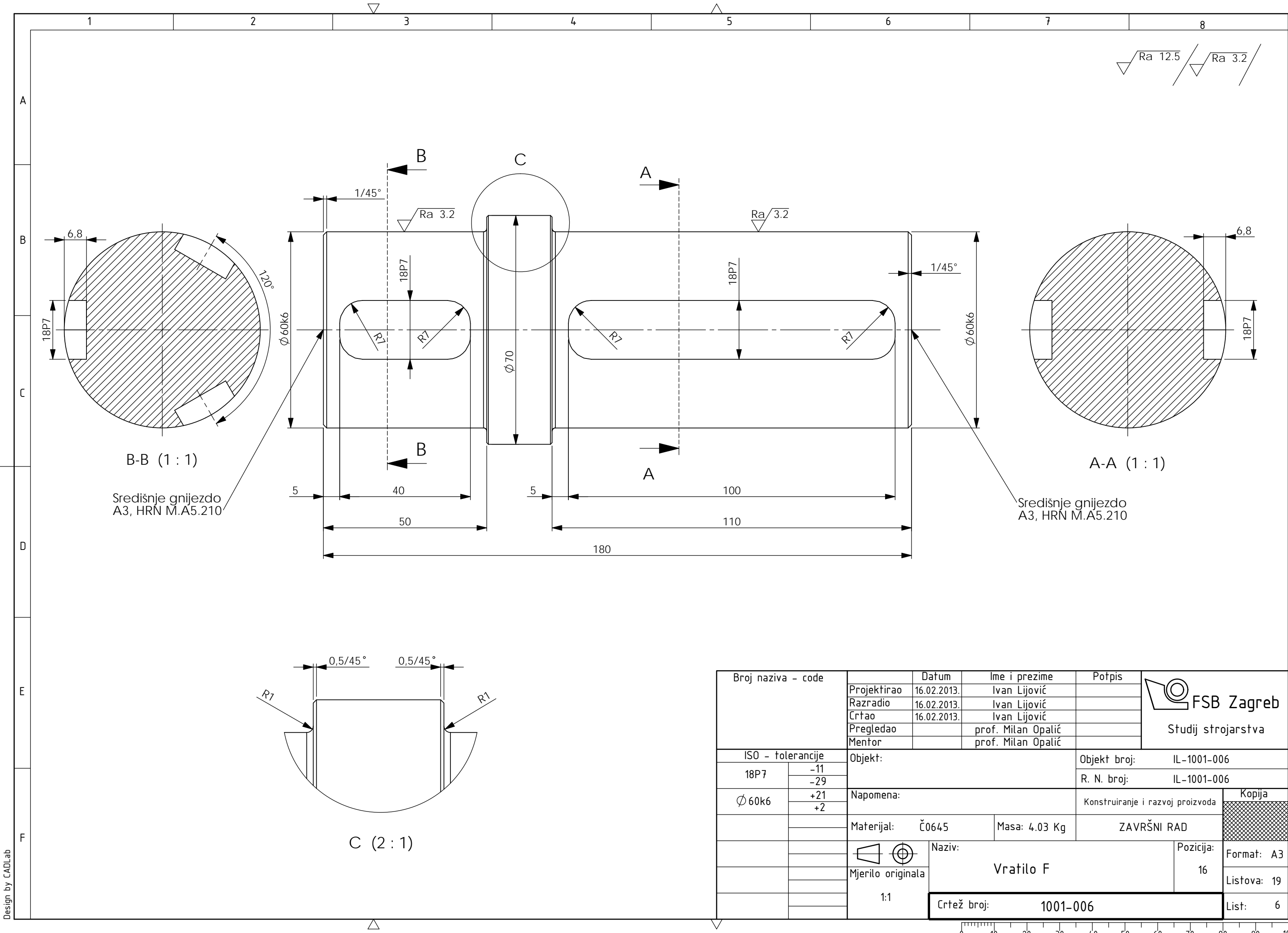
A (2 : 1)

Broj naziva - code		Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	<div> FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>	
		Razradio	16.02.2013.	Ivan Lijović			
		Crtao	16.02.2013.	Ivan Lijović			
		Pregledao		prof. Milan Opalić			
				prof. Milan Opalić			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	IL-1001-004	
1.5P7	-6				R. N. broj:	IL-1001-004	
Ø 30h6	-16	Napomena:			Konstruiranje i razvoj proizvoda	Kopija	
	0						
	-13						
		Materijal:	Č0545	Masa: 0.663 Kg	ZAVRŠNI RAD		
		<div></div> Mjerilo originala	Naziv:			Pozicija:	Format: A3
	Osovina satelita						19
	1:1		Crtež broj:			1001-004	List:

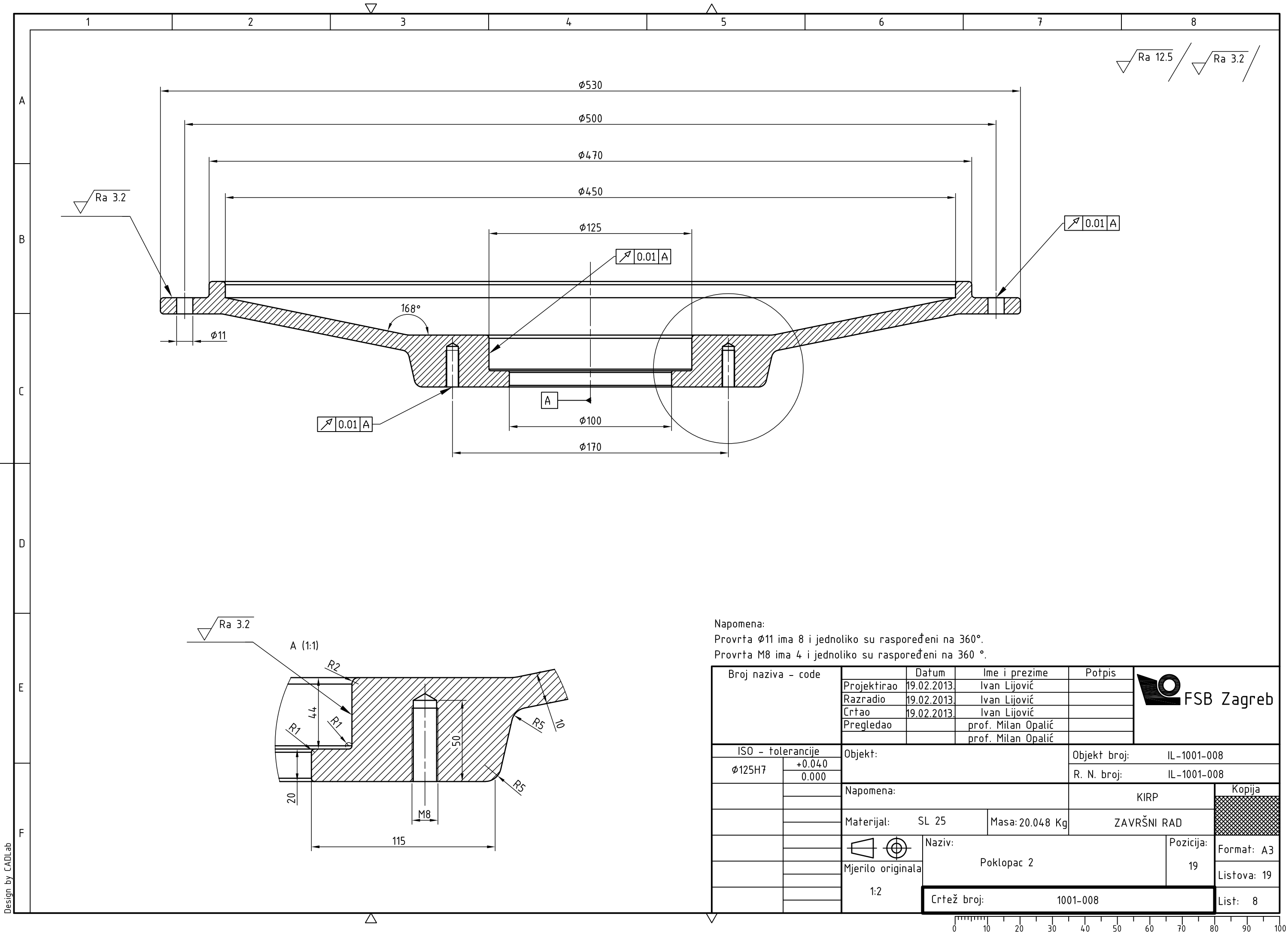


Broj naziva - code		Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva	
		Razradio	16.02.2013.	Ivan Lijović			
		Crtao	16.02.2013.	Ivan Lijović			
		Pregledao		prof. Milan Opalić			
		Mentor		prof. Milan Opalić			
		ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:
14P7	-11 -29	R. N. broj:	IL-1001-005				
Ø 45k6	+18 +2	Napomena:			Konstruiranje i razvoj proizvoda	Kopija	
	Ø 48k6					+18 +2	
		Materijal:	Č0645	Masa: 2.48 Kg	ZAVRŠNI RAD		
		 Mjerilo originala 1:1	Naziv: Vratilo B			Pozicija: 9	Format: A3
							Listova: 19
							List: 5
		Crtež broj: 1001-005					






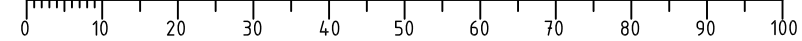
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva	
		Projektirao	16.02.2013.	Ivan Lijović		
		Razradio	16.02.2013.	Ivan Lijović		
		Crtao	16.02.2013.	Ivan Lijović		
		Pregledao		prof. Milan Opalić		
		Mentor		prof. Milan Opalić		
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj: IL-1001-006	
18P7	-11 -29				R. N. broj: IL-1001-006	
Ø 60k6	+21 +2	Napomena:			Konstruiranje i razvoj proizvoda	
		Materijal:	Č0645	Masa: 4.03 Kg	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:			Pozicija:	
		Mjerilo originala			16	
		1:1			Format: A3	
		Crtež broj: 1001-006			Listova: 19	
					List: 6	

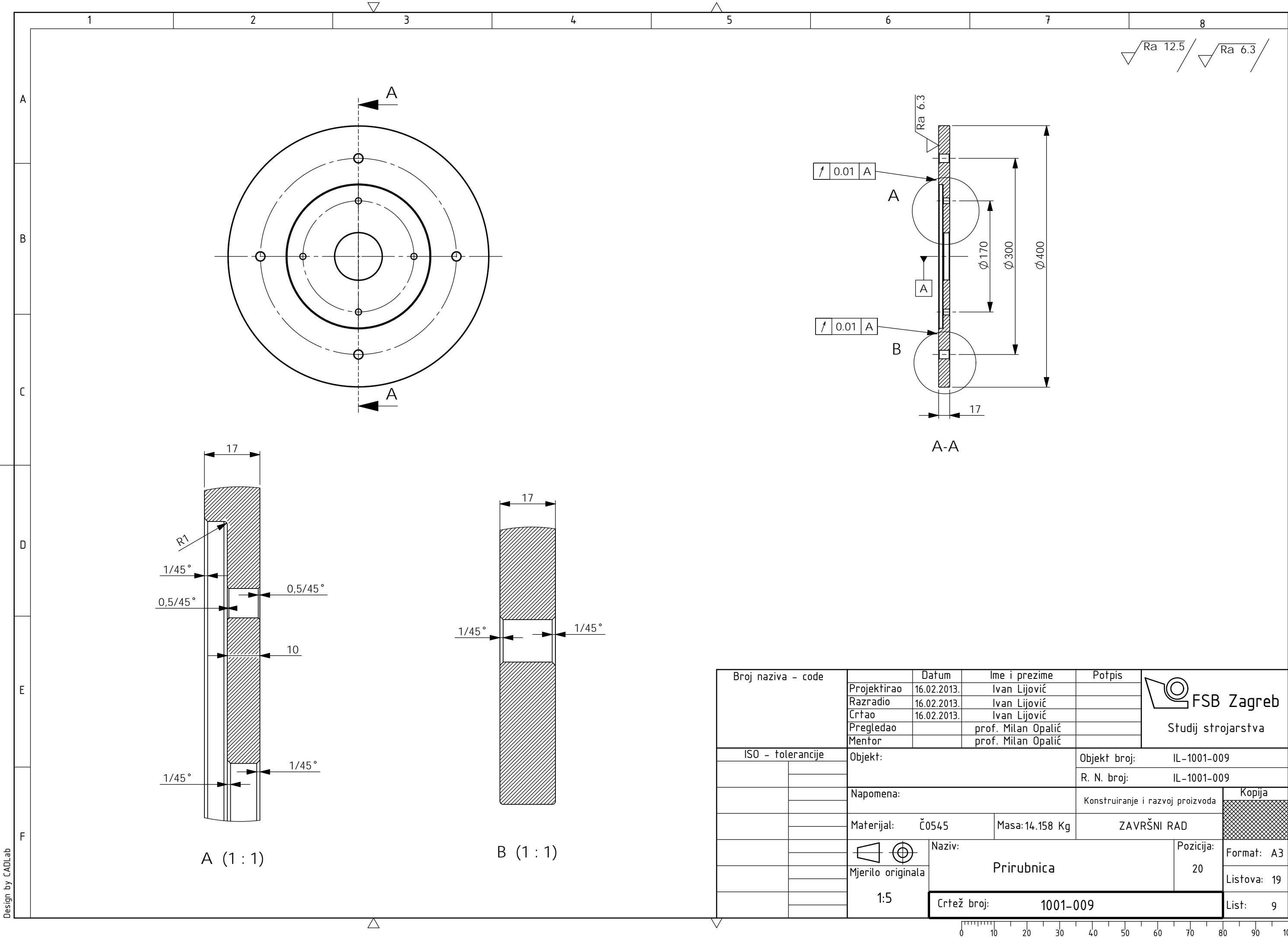


Design by CADLab

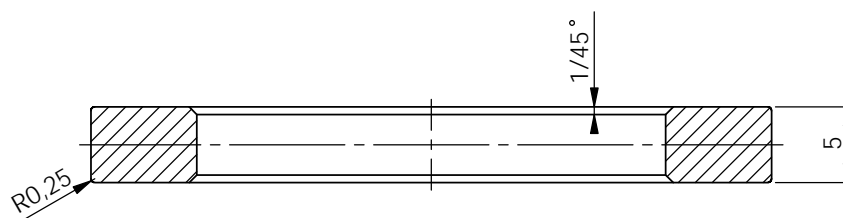
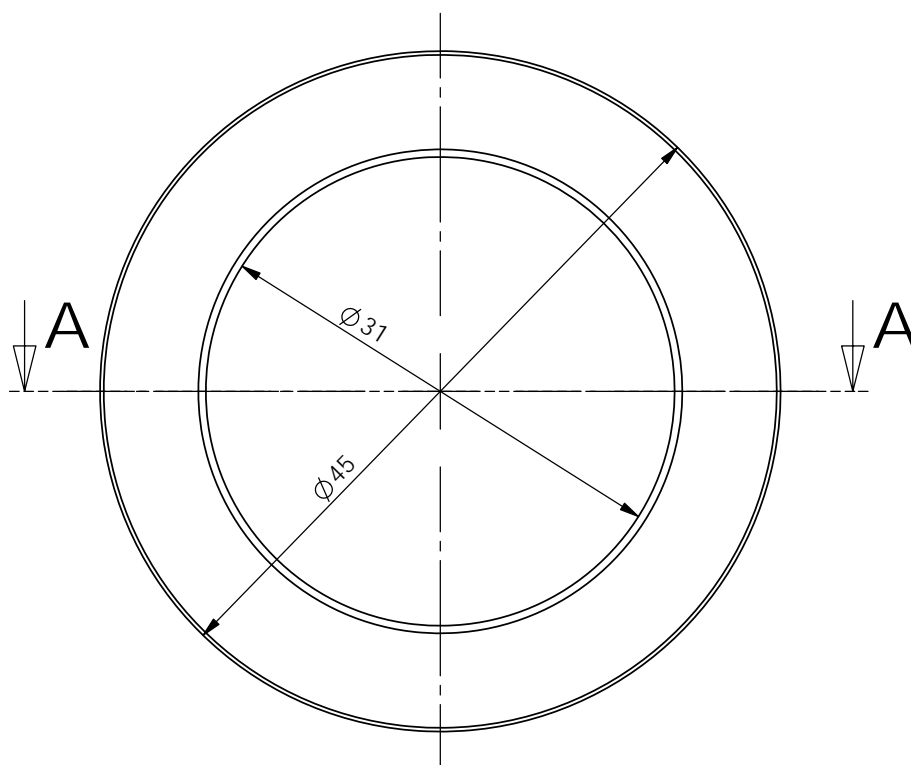
Napomena:
Provrti Ø11 ima 8 i jednoliko su raspoređeni na 360°.
Provrti M8 ima 4 i jednoliko su raspoređeni na 360°.

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	19.02.2013.	Ivan Lijović		
		Razradio	19.02.2013.	Ivan Lijović		
		Crtao	19.02.2013.	Ivan Lijović		
		Pregledao		prof. Milan Opalić		
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj: IL-1001-008	
Ø125H7	+0.040 0.000				R. N. broj: IL-1001-008	
		Napomena:			KIRP	
		Materijal: SL 25			Masa: 20.048 Kg	
		Naziv: Poklopac 2			ZAVRŠNI RAD	
		Mjerilo originala			Pozicija: 19	
		1:2			Format: A3	
		Crtež broj: 1001-008			Listova: 19	
					List: 8	

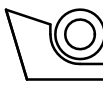


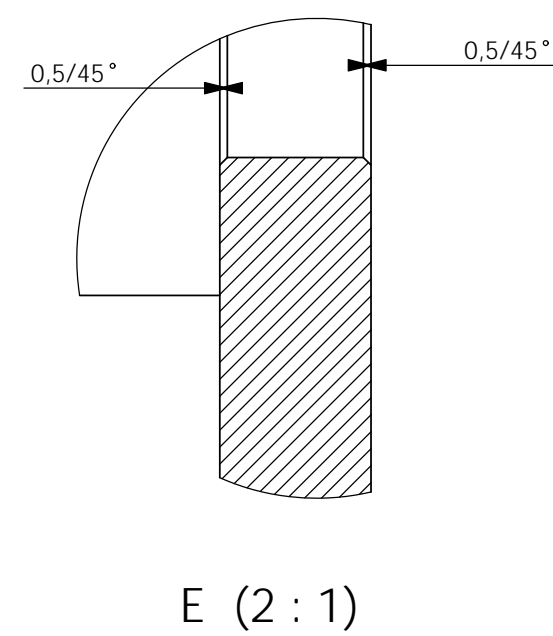
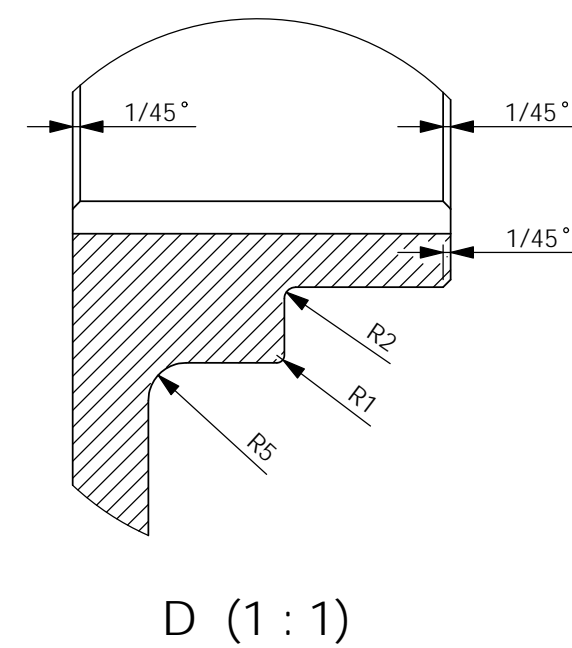
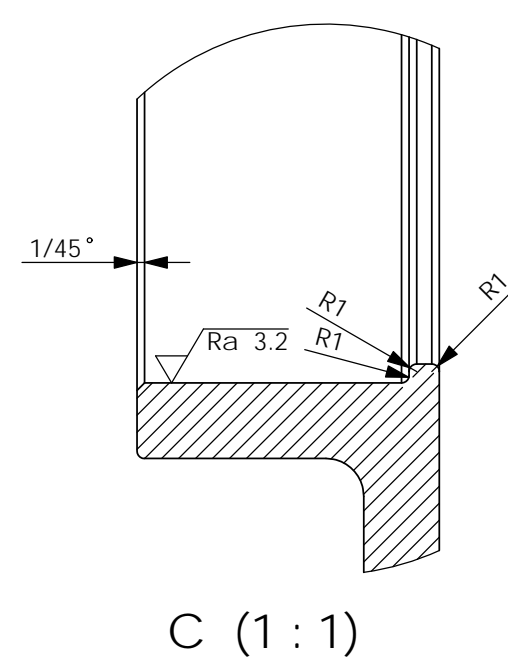
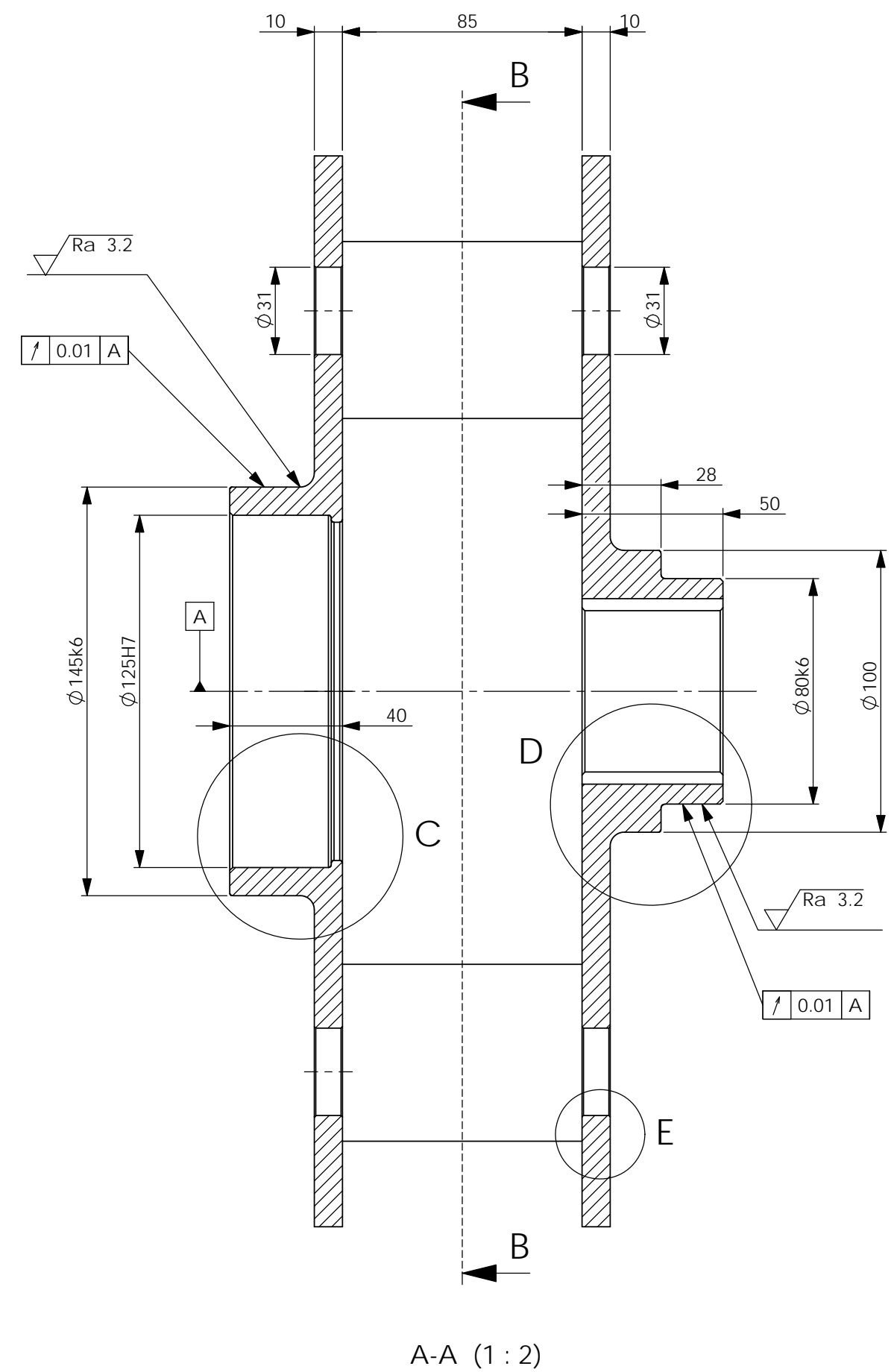
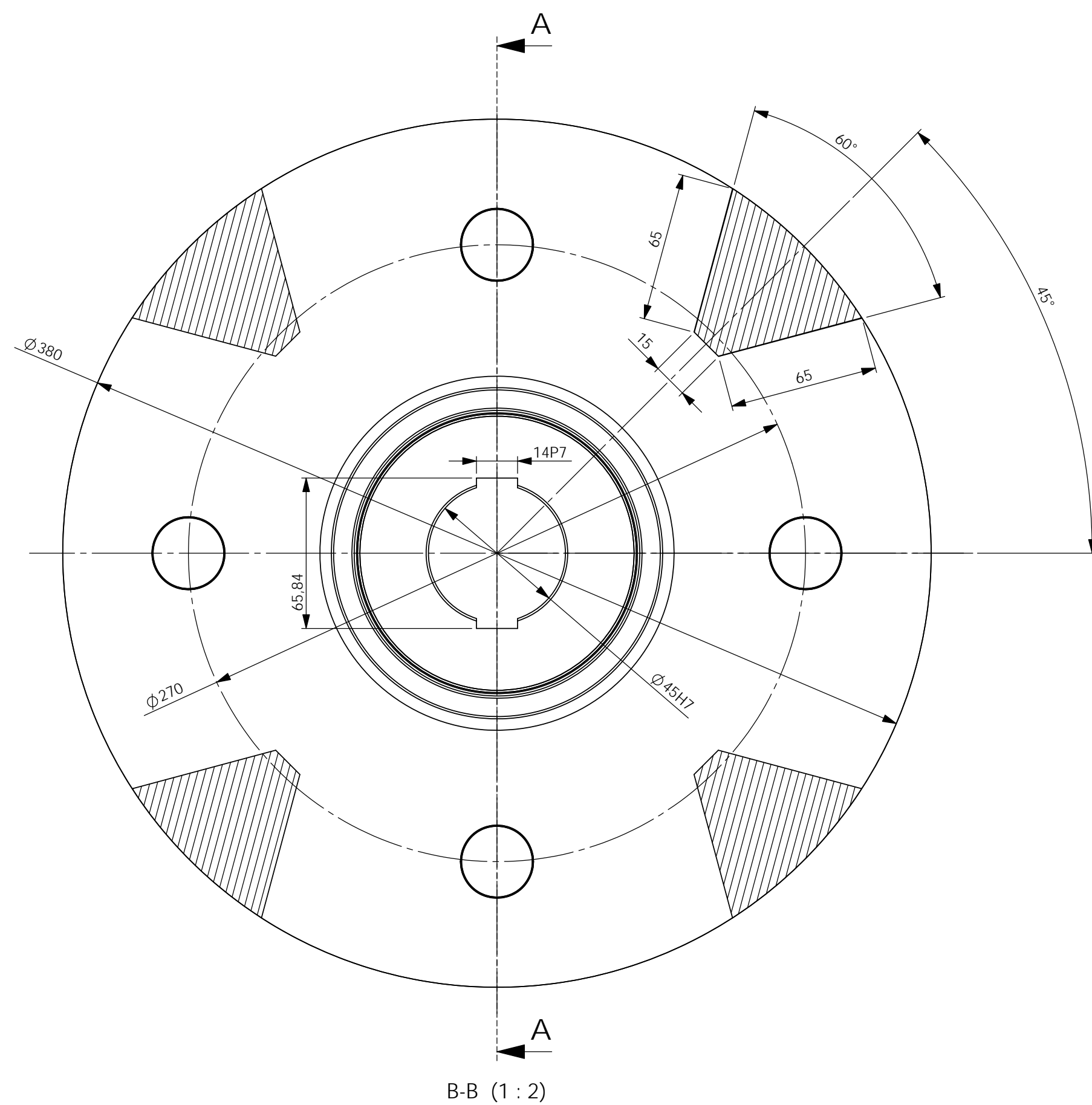



$\sqrt{Ra\ 12.5}$

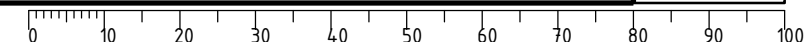


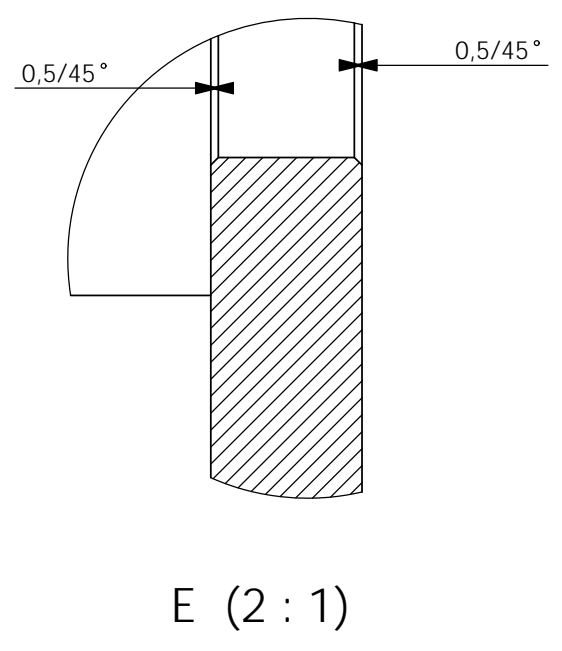
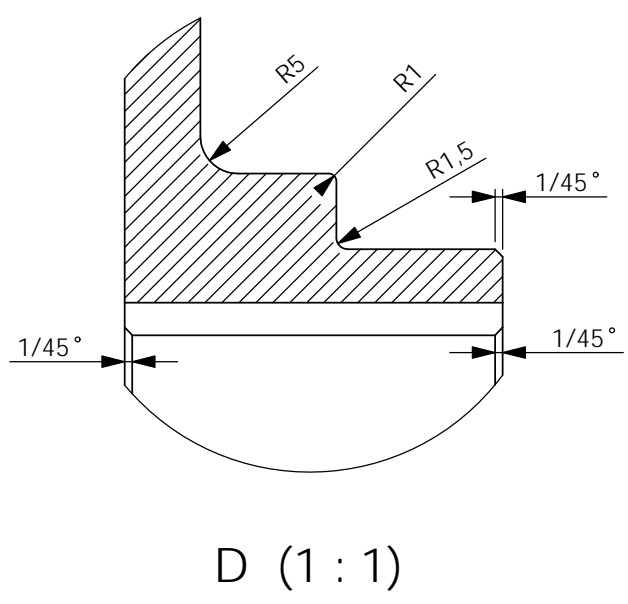
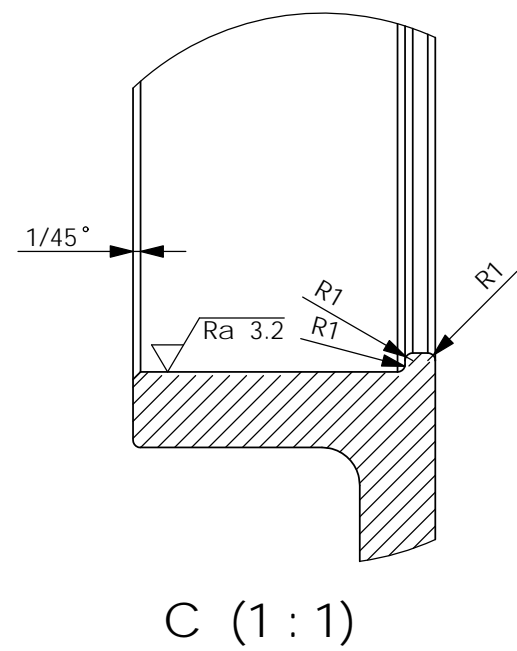
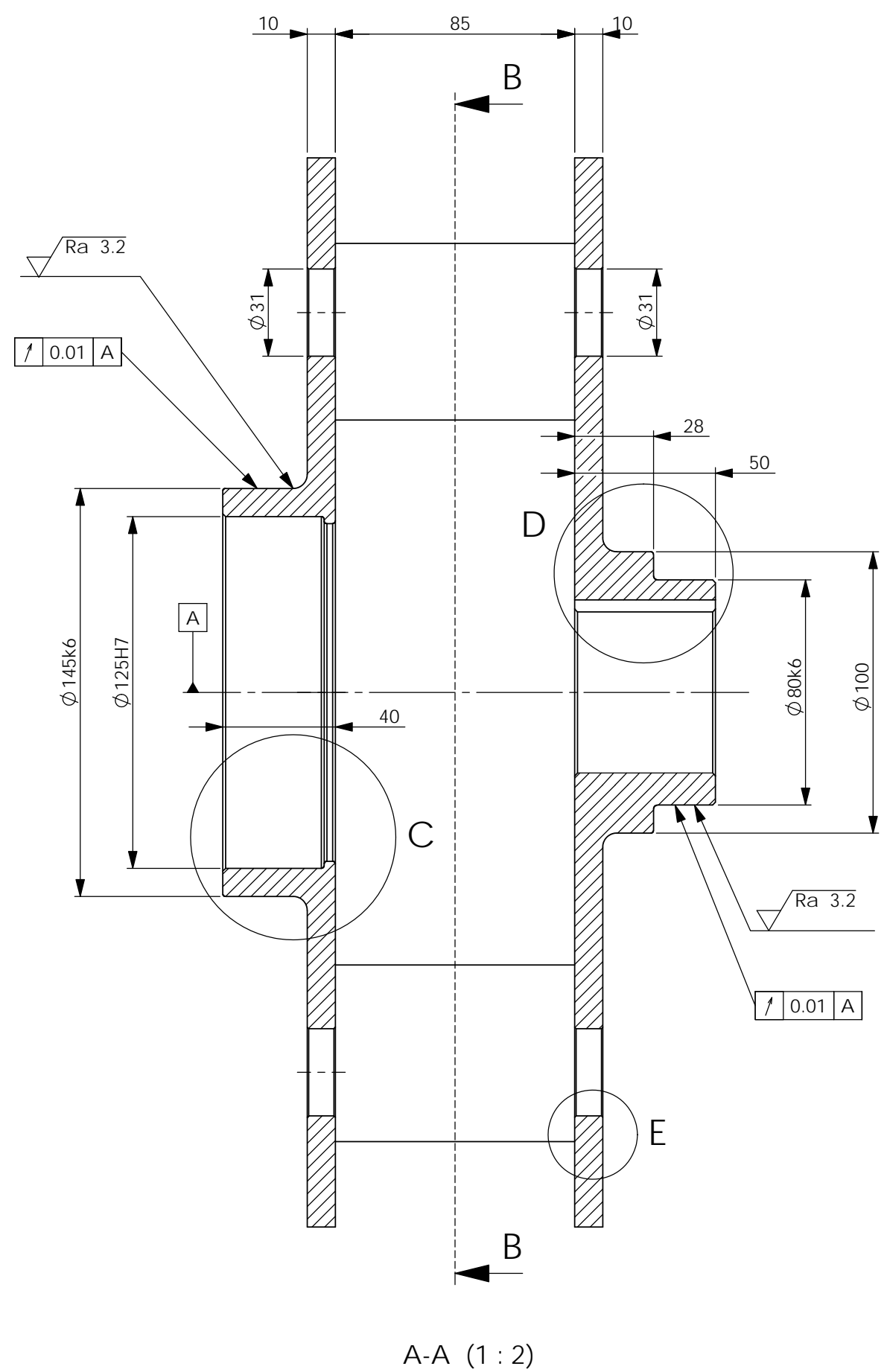
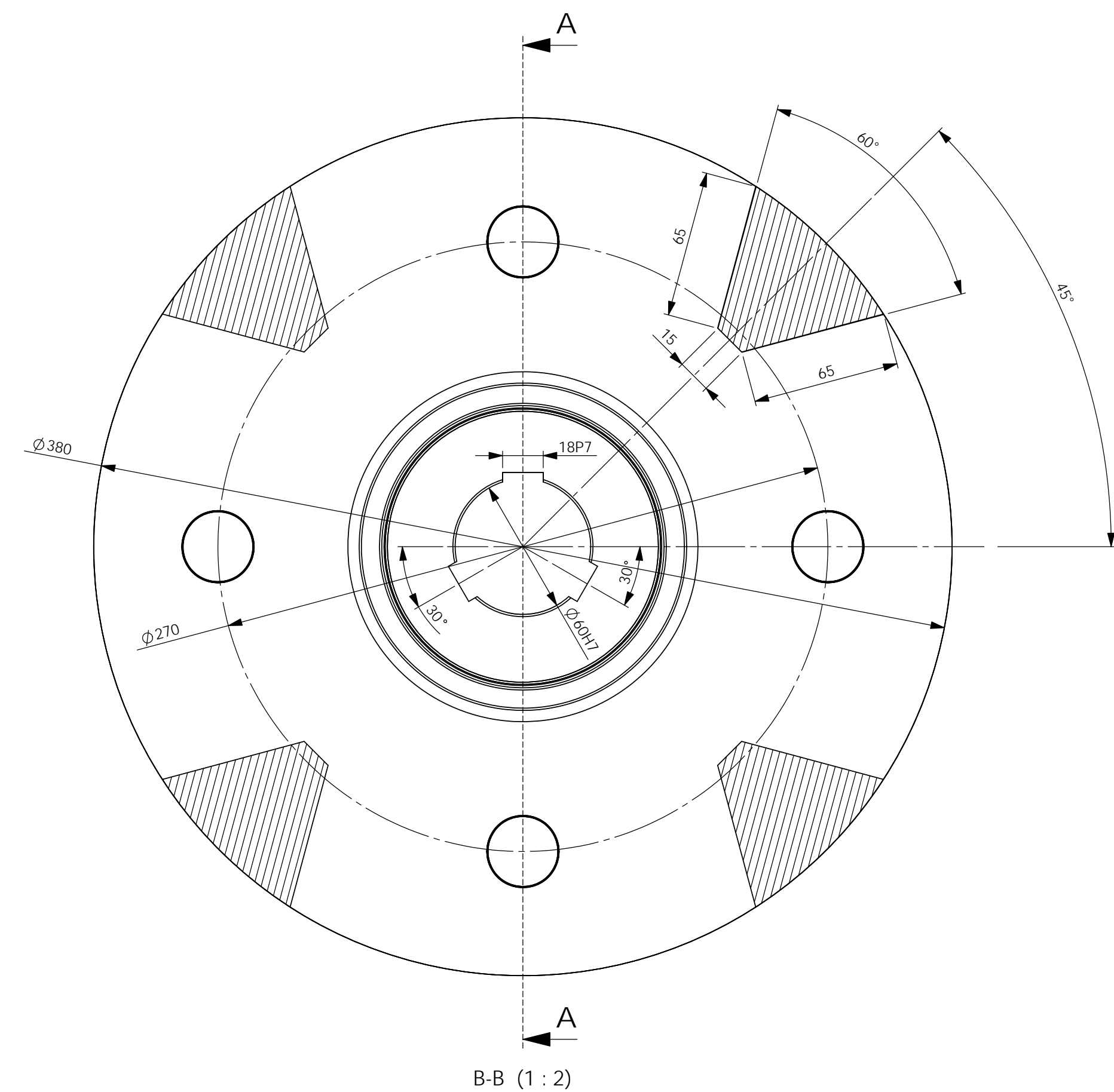
A-A (2 : 1)

Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
	Razradio	16.02.2013.	Ivan Lijović		
	Crtao	16.02.2013.	Ivan Lijović		
	Pregledao		prof. Milan Opalić		
			prof. Milan Opalić		
ISO - tolerancije	Objekt:			Objekt broj:	IL-1001-010
				R. N. broj:	IL-1001-010
	Napomena:			Konstruiranje i razvoj proizvoda	Kopija
	Materijal:	Č0461	Masa: 0.032 Kg	ZAVRŠNI RAD	
	 Naziv:			Pozicija:	Format: A3
	Mjerilo originala			21	Listova: 19
	2:1			Crtež broj:	1001-010
					List: 10

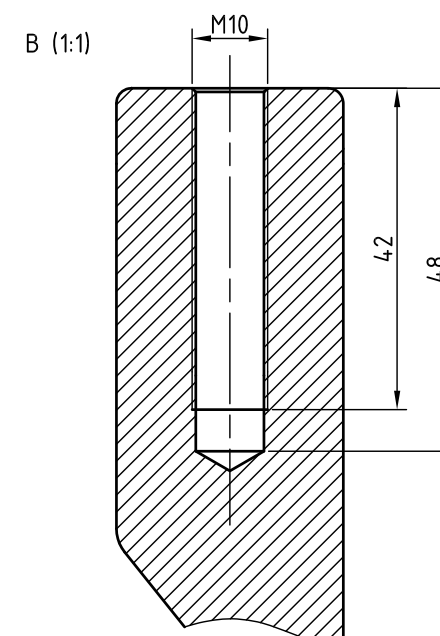
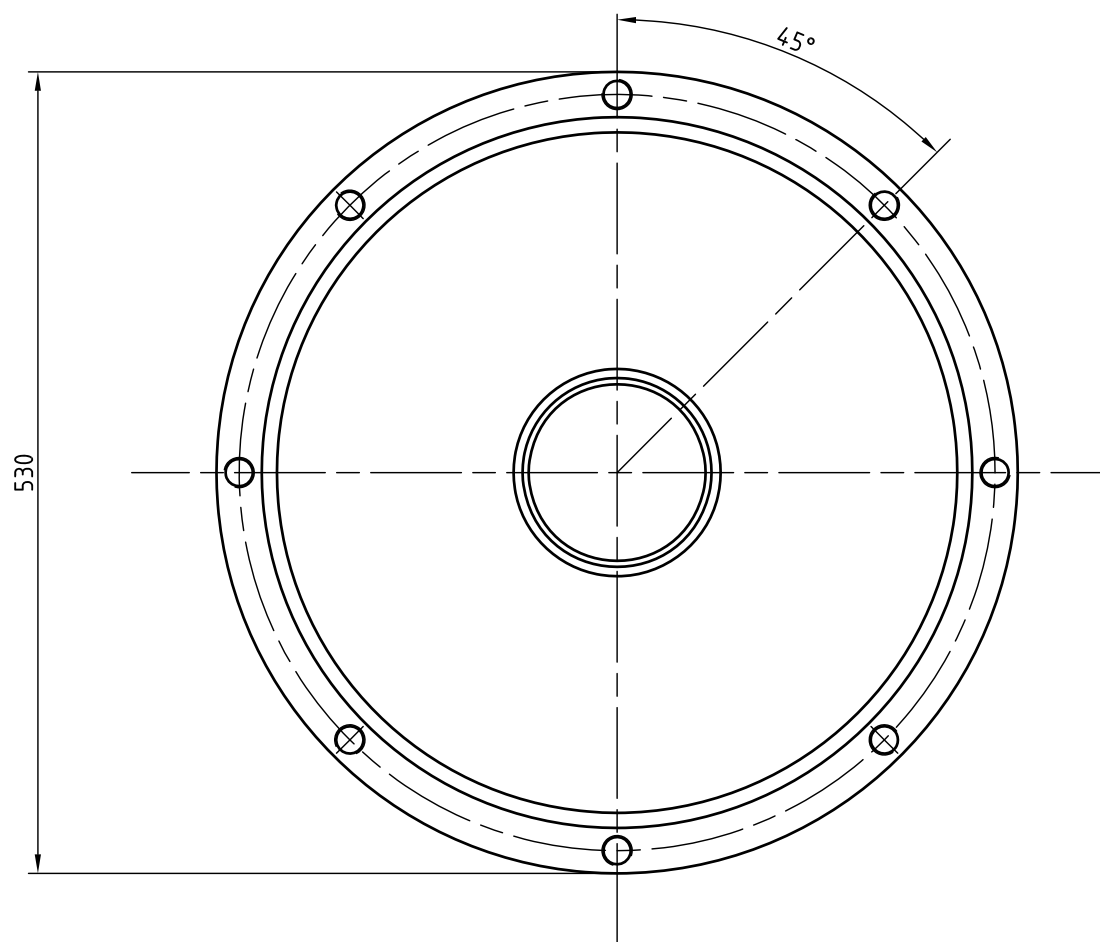


Broj naziva - code		Datum		Ime i prezime		Potpis		<div> FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>	
Projektirao		16.02.2013.	Ivan Ljović						
Razradio		16.02.2013.	Ivan Ljović						
Crtao		16.02.2013.	Ivan Ljović						
Pregledao			prof. Milan Opalić						
Mentor			prof. Milan Opalić						
ISO - tolerancije		Objekt:				Objekt broj: IL-1001-011			
Ø 145k6	+28	Napomena:				R. N. broj: IL-1001-011			
	+3								
Ø 125H7	+35	Matematika: Č0545				Konstruiranje i razvoj proizvoda		Kopija	
	0								
Ø 80k6	+25	Materijal: Č0545		Masa: 29.121 Kg		ZAVRŠNI RAD			
	+3								
Ø 45H7	+25	 		Naziv: Ručica 1		Pozicija: 4		Format: A2	
	0							Listova: 19	
18P7	-11	Mjerilo originala		1:2		Crtež broj: 1001-011		List: 11	
	-29								

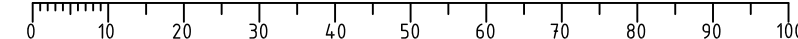


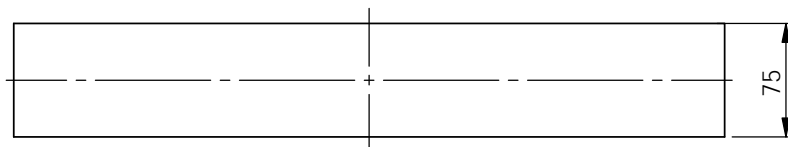
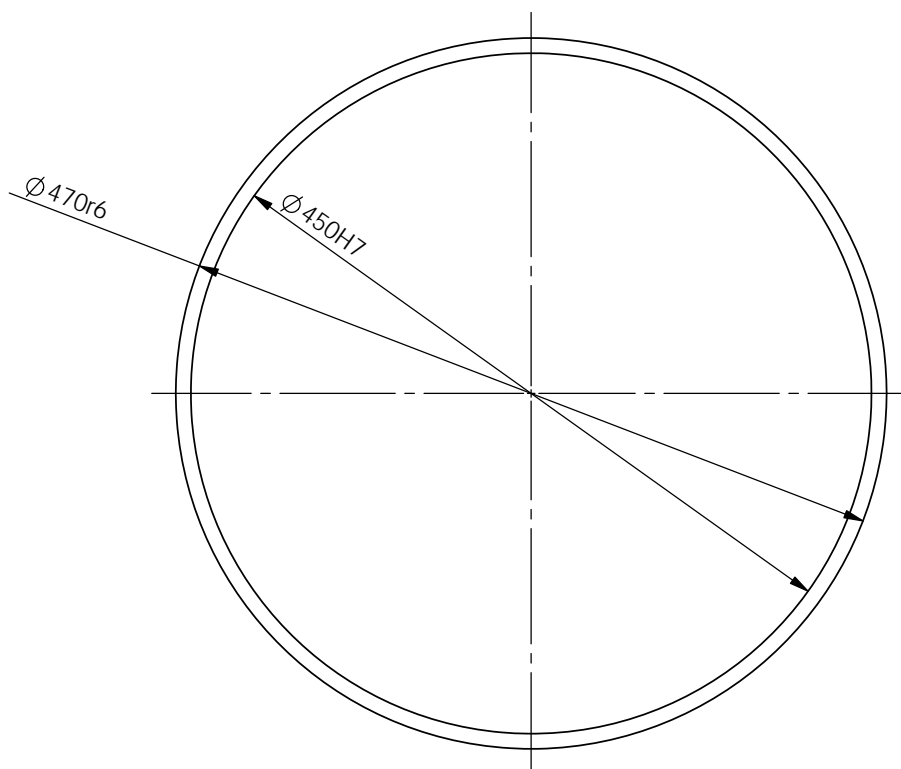



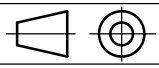
Broj naziva - code		Datum		Ime i prezime		Potpis		<div>FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>	
Projektirao		16.02.2013.		Ivan Ljović					
Razradio		16.02.2013.		Ivan Ljović					
Crtao		16.02.2013.		Ivan Ljović					
Pregledao				prof. Milan Opalić					
Mentor				prof. Milan Opalić					
ISO - tolerancije		Objekt:				Objekt broj: IL-1001-012			
Ø 145k6		+28						R. N. broj: IL-1001-012	
		+3							
Ø 125H7		+35 0		Napomena:				Kopija	
Ø 80k6		+25 +3		Materijal: Č0545		Masa: 29.121 Kg		ZAVRŠNI RAD	
Ø 60H7		+30 0				Naziv: Ručica 2		Pozicija:	
18P7		-11 -29						14	
				1:2		Crtež broj: 1001-012		Format: A2	
								Listova: 19	
								List: 12	

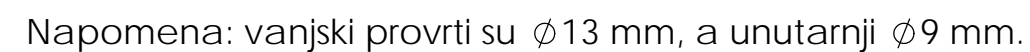
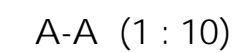
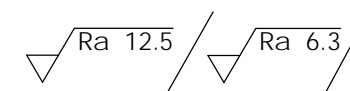


Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	19.02.2013	Ivan Lijović		
		Razradio	19.02.2013	Ivan Lijović		
		Crtao	19.02.2013	Ivan Lijović		
		Pregledao		prof. Milan Opalić		
			prof. Milan Opalić			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	IL-1001-013
Ø470H7	+0.063 0.000				R. N. broj:	IL-1001-013
		Napomena:			KIRP	Kopija
		Materijal:	SL 25	Masa: 87.542 Kg	ZAVRŠNI RAD	
			Naziv:			Pozicija:
		Mjerilo originala	Kućište			7
		1:5	Crtež broj:			1001-013
						List: 13

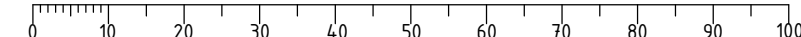


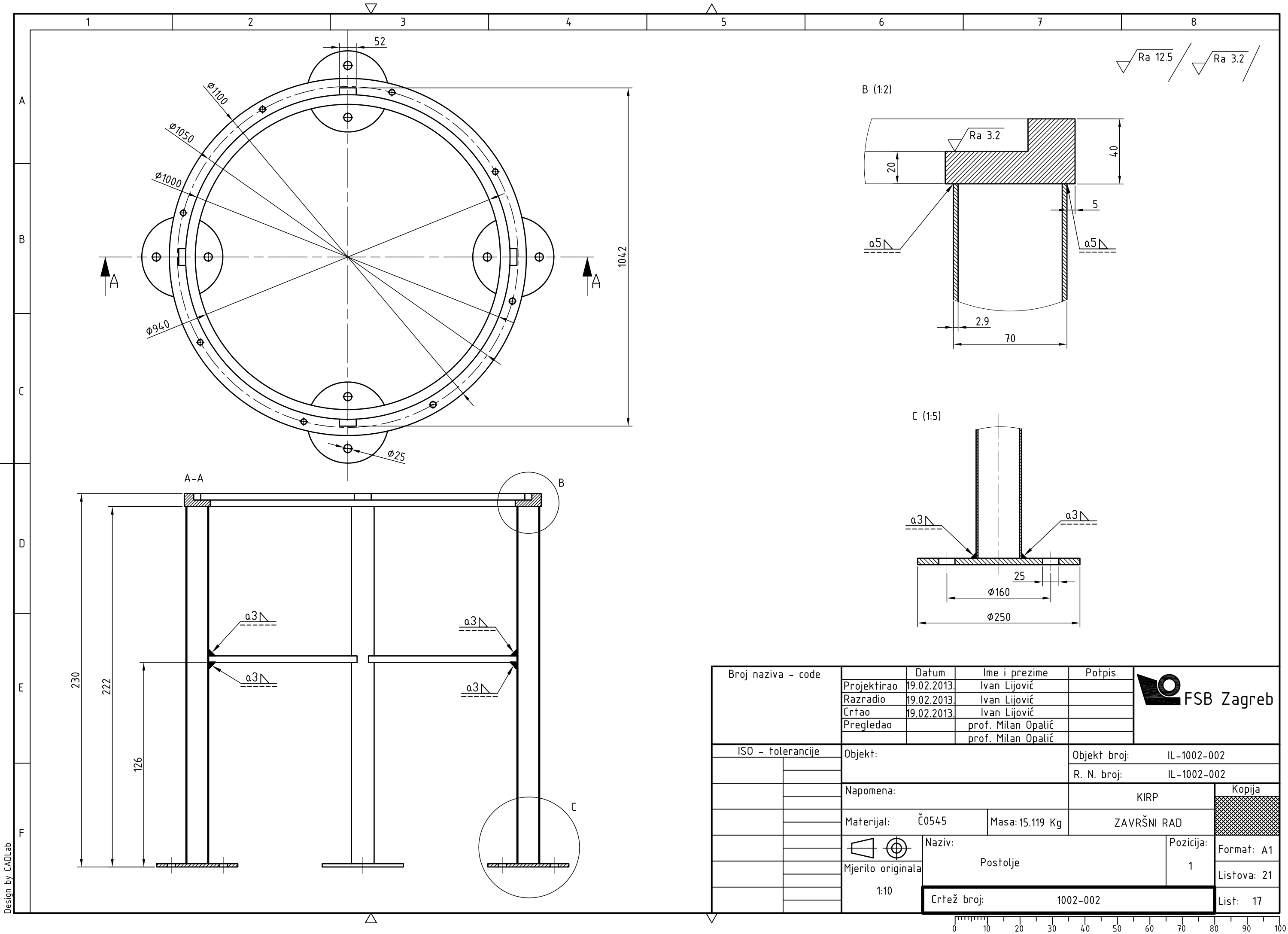


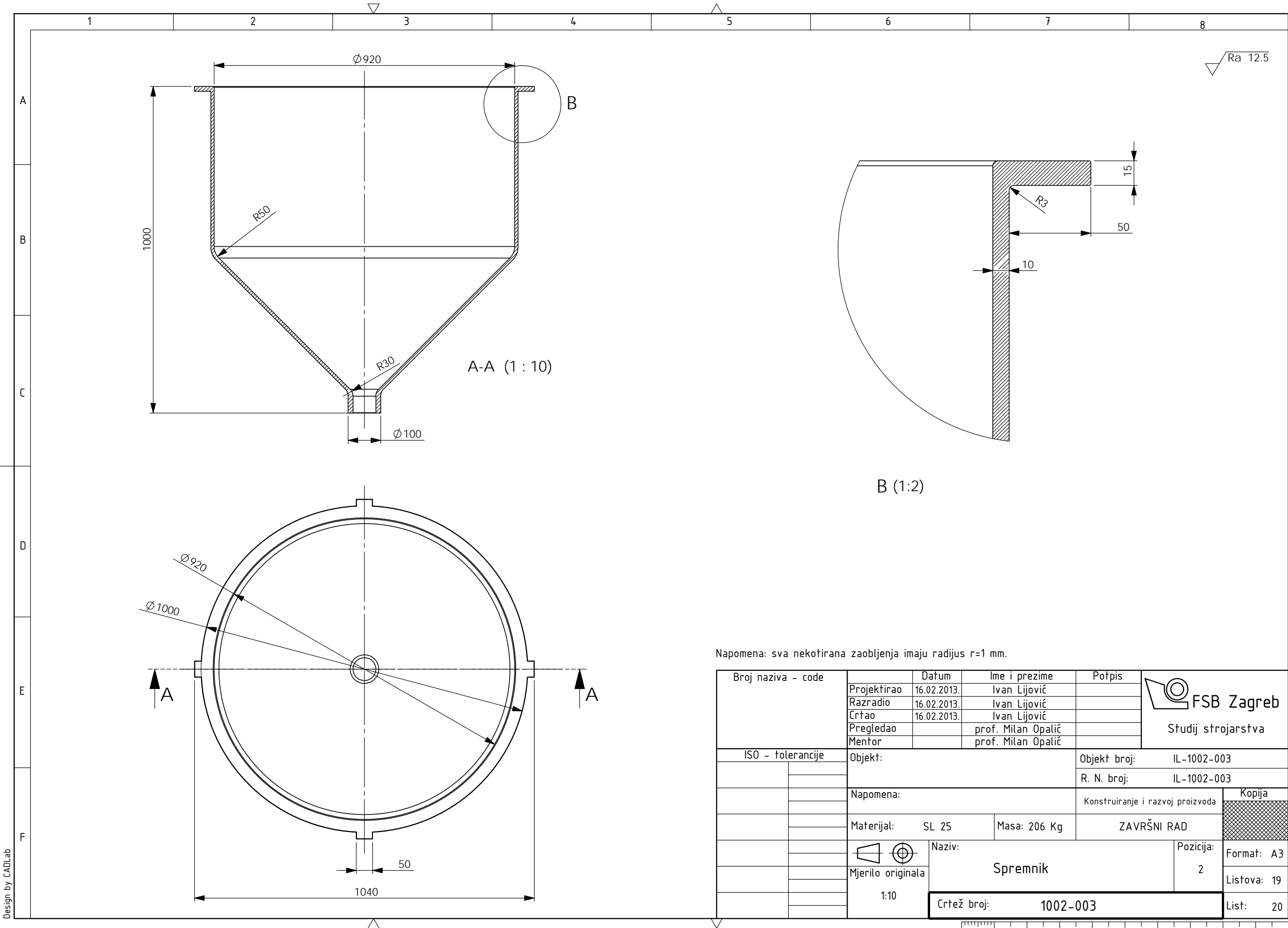
Broj naziva - code		Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	<div> FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>	
		Razradio	20.02.2013	Ivan Lijović			
		Crtao	20.02.2013	Ivan Lijović			
		Pregledao		prof. Milan Opalić			
				prof. Milan Opalić			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	IL-1001-014	
Ø 450H7	+0.063				R. N. broj:	IL-1001-014	
		0					
Ø 470r6	+0.172	Napomena:			Konstruiranje i razvoj proizvoda	Kopija	
	+0.132						
		Materijal:	NBR guma	Masa: 1.625 Kg	ZAVRŠNI RAD		
			Naziv:			Pozicija:	Format: A3
							Elastični uložak
		Mjerilo originala				Listova: 19	
		1:5	Crtež broj:			List: 14	
						1001-014	

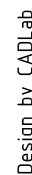


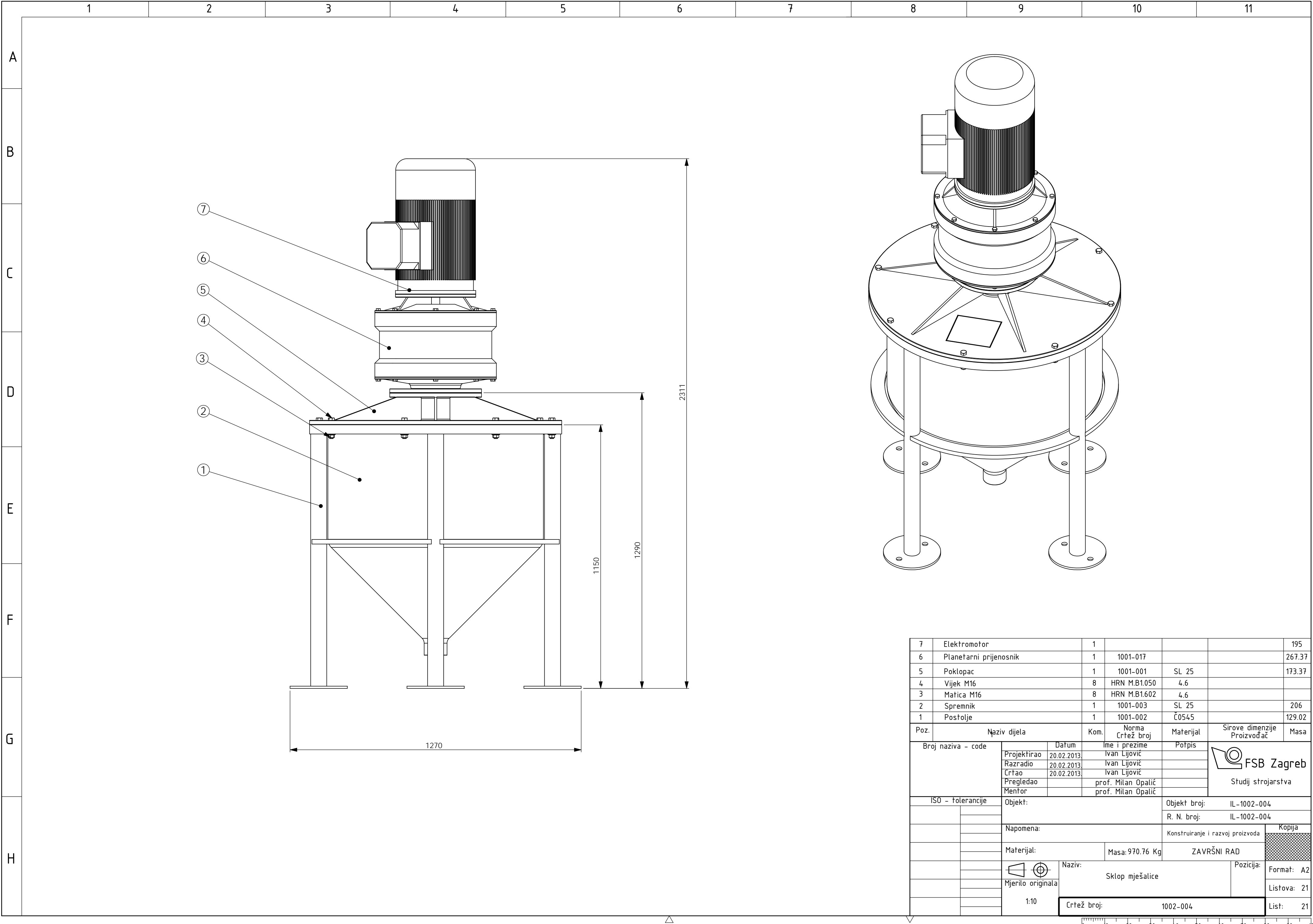
Broj naziva - code	Projektirao	16.02.2013.	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
	Razradio	16.02.2013.	Ivan Lijović		
	Crtao	16.02.2013.	Ivan Lijović		
	Pregledao		prof. Milan Opalić		
	Mentor		prof. Milan Opalić		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj: IL-1002-001	
				R. N. broj: IL-1002-001	
		Napomena:		Konstruiranje i razvoj proizvoda	Kopija
		Materijal: SL 25	Masa: 173.37 Kg	ZAVRŠNI RAD	
			Naziv:		Pozicija:
			Poklopac postolja		5
			Crtež broj: 1002-001		
		Mjerilo originala 1:10			Format: A3
					Listova: 19
					List: 16




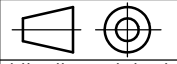








7	Elektromotor	1				195
6	Planetarni prijenosnik	1	1001-017			267.37
5	Poklopac	1	1001-001	SL 25		173.37
4	Vijek M16	8	HRN M.B1.050	4.6		
3	Matica M16	8	HRN M.B1.602	4.6		
2	Spremnik	1	1001-003	SL 25		206
1	Postolje	1	1001-002	Č0545		129.02

Poz.	Naziv dijela		Kom.	Norma Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code			Datum	Ime i prezime	Potpis	<div>FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>	
		Projektirao	20.02.2013.	Ivan Ljović			
		Razradio	20.02.2013.	Ivan Ljović			
		Crtao	20.02.2013.	Ivan Ljović			
		Pregledao		prof. Milan Opalić			
		Mentor		prof. Milan Opalić			
ISO – tolerancije		Objekt:			Objekt broj: IL-1002-004		
					R. N. broj: IL-1002-004		
		Napomena:			Konstruiranje i razvoj proizvoda		Kopija
		Materijal:			Masa: 970.76 Kg	ZAVRŠNI RAD	
			Naziv:			Pozicija:	Format: A2
		Mjerilo originala	Sklop mješalice				Listova: 21
		1:10	Crtež broj:			1002-004	List: 21

